

Saara Takku

# **Pitkään varastoitujen automaatiolaitteiden elektrolyyttikondensaattoreiden elvytys**

Opinnäytetyö

Kevät 2016

SeAMK Tekniikka

Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio

Tekijä: Saara Takku

Työn nimi: Pitkään varastoitujen automaatiolaitteiden elektrolyyttikondensaattoreiden elvytys

Ohjaaja: Heikki Rajala

Vuosi: 2016

Sivumäärä: 43

Liitteiden lukumäärä: 3

---

Tämä työ tehtiin Atria Oyj:lle. Työn tarkoituksena oli kehittää laite varastoitujen automaatiolaitteiden käyttöönottoon pitkän varastoinnin jälkeen. Työssä on käyty läpi kondensaattoreiden rakennetta, syitä niiden vanhenemiselle ja varastoinnin ongelmille. Teoriaosuudessa selvitettiin syitä rikkoutumisille ja miten niitä voitaisiin ehkäistä. Ratkaisuna päädyttiin niin kutsuttuun voltage treatmenttiin, jossa kondensaattoreihin johdetaan hitaasti nostettava jännite säädettävällä jännitelähteellä. Työn loppupuolella on esitetty esimerkki mahdollisesta jännitelähteestä 24 voltin tasavirtalaitteiden elvyttämiseen, rakennusohjeet sekä piirikaaviot.

Avainsanat: kondensaattori, elvytys, voltage treatment, varastointi, automaatiolaitte

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Machine Automation

Author: Saara Takku

Title of thesis: Regenerating the electrolytic capacitors of long-stored automation devices

Supervisor: Heikki Rajala

Year: 2016

Number of pages: 43

Number of appendices: 3

---

This research was made for Atria Oyj. This research was about developing an equipment for the introduction of automation components after a long storage period. This research concentrated on the structure of capacitors, the reasons for their aging and the problems of storing. In the theory part it was studied what are the reasons for breakages and how they can be prevented.

The solution to the problem was a voltage treatment, where a slowly reducing amount of voltage is conducted to the capacitors with a programmable voltage source. In the end of this thesis there is an example of a possible voltage source that can be used for reviving 24 V direct current devices. Also building plans and electric drawings for the device are stated.

Keywords: capacitor, revival, voltage treatment, storage, automation device

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvioluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	7
1 JOHDANTO .....	8
1.1 Työn tausta .....	8
1.2 Työn tavoite .....	8
1.3 Työn rakenne .....	8
1.4 Atria Oyj .....	9
1.4.1 Historia.....	10
1.4.2 Nurmon tehdas .....	11
2 KONDENSAATTORIT.....	12
2.1 Kondensaattorityypit .....	12
2.1.1 Elektrolyyttikondensaattorit .....	13
2.1.2 Metallipaperikondensaattorit .....	15
2.1.3 Muovieristeiset kondensaattorit .....	16
2.1.4 Keraamiset kondensaattorit .....	16
2.2 Vanheneminen ja varastoinnin ongelmat .....	17
3 ELVYTYS.....	19
3.1 Elvytyksen teoriaa.....	19
3.2 Elvytys- ja korjauskeinot .....	19
3.2.1 Kondensaattorin vaihto .....	20
3.2.2 Elvytys jännitettä nostamalla vuotovirtaa tarkkailemalla .....	20
3.2.3 Elvytys vastusten kautta .....	21
3.2.4 Elvytys jännitettä nostamalla kaavion mukaan.....	22
3.3 Toteutus ja ongelmat .....	24
4 ELVYTETTÄVÄT LAITTEET .....	25
4.1 Taajuusmuuttajat .....	25
4.1.1 Lenze .....	25

4.2 Pehmokäynnistimet.....	26
<b>5 LAITETURVALLISUUS .....</b>	<b>28</b>
5.1 Standardit ja asetukset .....	28
5.1.1 Pienjännitedirektiivi 2006/95/EY .....	28
5.1.2 Sähkömagneettista yhteensopivuutta (EMC) koskeva direktiivi .....	29
5.1.3 Vaatimustenmukaisuusvakuutus ja CE-merkki .....	29
5.1.4 Valtioneuvoston asetus numero 403/2008 eli käyttöpäätös .....	30
5.2 Riskiarvio .....	30
5.2.1 Sähköstä aiheutuvat vaarat .....	31
5.2.2 Mekaaniset vaarat .....	31
<b>6 LAITTEEN SUUNNITTELU .....</b>	<b>33</b>
6.1 Laitteen määrittely.....	33
6.2 Jännitelähde.....	33
6.3 Liitännät .....	34
6.4 Piirikaavion suunnittelu .....	35
6.4.1 Piirikaavio Lenzen laitteiden elvytykseen.....	35
6.5 Ohjelmisto .....	37
<b>7 TULOKSET .....</b>	<b>38</b>
<b>8 POHDINTAA .....</b>	<b>39</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>40</b>
<b>LIITTEET .....</b>	<b>43</b>

## Kuvioluettelo

Kuvio 1. Atrian logo ja motto. ....	9
Kuvio 2. Atria on maailman jäljitettävien lihatalo. ....	10
Kuvio 3. Erilaisia kondensaattoreita. ....	13
Kuvio 4. Levykondensaattori. ....	14
Kuvio 5. Rullattu kondensaattori. ....	14
Kuvio 6. Metallipaperi- ja muovieristeisen kondensaattorin rakenne. ....	15
Kuvio 7. Keraamisen kondensaattorin rakenne. ....	16
Kuvio 8. Vanha kuivunut kondensaattori ja nuori kostea kondensaattori. ....	17
Kuvio 9. Vuotovirran kasvu suhteessa varastointivuosiin. ....	18
Kuvio 10. Jännitemittareiden sijoitus kondensaattoria elvytettäessä. ....	21
Kuvio 11. Kytkennät vastuksella elvyttämiseen. ....	22
Kuvio 12. Laitteen elvytysaika. ....	23
Kuvio 13. Portaittainen jännitteen nostaminen. ....	24
Kuvio 14. Lenzen 9300-sarjan laite. Virtaliitännät kuvassa +UG, -UG. ....	26
Kuvio 15. ABB:n pehmokäynnistin. ....	27
Kuvio 16. CE-merkki. ....	29
Kuvio 17. Räjähäntynyt kondensaattori. ....	31
Kuvio 18. Sorensen XHR. ....	33
Kuvio 19. Piirikaavio jännitelähteen kytkennästä. ....	35
Kuvio 20. Liitännät Lenzen laitteiden elvytykseen. ....	36

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Kapasitanssi</b>	Kondensaattorin varauskyvyn suure
<b>Permittiivisyys</b>	Faradi per metri, väliaineen vaikutus siihen kohdistuvaan sähkökenttään
<b>Läpilyönti</b>	Kun kondensaattoriin johdetaan liian suuri jännite, se purkautuu levyjen välillä läpilyöntinä
<b>Läpilyöntikestävyys</b>	Raja, jota suuremmille jännitteille kondensaattoria ei voi käyttää
<b>Elektrodi</b>	Kondensaattorin sähköä johtavat levyt
<b>Voltage treatment</b>	Englanninkielinen termi kondensaattoreiden hitaalle käyttönotolle jännitettä nostamalla
<b>Elvytys</b>	Suomenkielinen termi kondensaattoreiden toimintakuntoon saattamiseen varastoinnin jälkeen
<b>Anodisointi</b>	Oksidikerroksen muodostaminen tai uudelleenmuodostaminen kondensaattorin anodille

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Tämän työn taustalla on ongelma automaatiolaitteiden varastoinnista Atrialla. Atrialla on lukuisia eri tuotantolinjastoja, joiden rikkoutuminen saattaisi aiheuttaa viivästyksiä tuotantoon ja taloudellisia tappioita. Uusien laitteiden toimitusajat venyttävät seisokkia liikaa, joten on ylläpidettävä varastoa herkästi särkyvistä laitteista korjaustöiden nopeuttamiseksi. Tulevaisuudessa laitteiden varastointiajat saattavat venyä, joten tähän on varauduttava etukäteen. Pitkän varastoinnin jälkeen käyttöönotettaessa laitteet ovat herkkiä särkymään.

Atria ostaa tällä hetkellä varaosien korjaus- ja käyttöönottopalvelut ulkopuolisesta yrityksestä, mutta tämän yrityksen kaukainen sijainti hidastaa laitteiden korjausta ja käyttöönottoa.

## 1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on tutkia ennen kaikkea laitteiden elektrolyyttikondensaattoreita, niiden rakennetta ja särkymisen syitä, sekä särkymisen estämistä laitteiden hitaalla käyttöönotolla. Tavoitteena on luoda rakennusohjeet turvalliseen ja toimivaan laitteiden elvytyspenkkiin, jos kondensaattoreiden elvyttämiselle löytyy riittävästi tieteellisiä perusteita.

## 1.3 Työn rakenne

Työ alkaa Atrian yritysesittelyllä. Teoriaosuudessa käsitellään kondensaattoreita, niiden rakennetta, vanhenemista ja varastoinnin ongelmia. Seuraavissa luvuissa käydään läpi elvyttämisen eri tekniikat, sekä elvytettävät laitteet jännitealueineen. Tämän jälkeen käsitellään turvallisuus ja standardit. Seuraavana on laitteen suunnittelu sähköpiirustuksineen, ja lopulta yhteenveto ja pohdinnat. Liitteisiin on lisätty ohjeet tarpeellisimpiin elvytyksiin.



#### 1.4 Atria Oyj



**Hyvä ruoka, parempi mieli.**

Kuvio 1. Atrian logo ja motto.  
(Atria Oyj 2016a)

Atria Oyj on suomalainen elintarvikealan yritys. Sen suurin toimipiste sijaitsee Seinäjoella Nurmossa. Atria valmistaa tuotteita suoraan päivittäistavarakauppaan, teollisuudelle ja ruokapalveluita tuottaville tahoille. Atria toimii Suomessa, Skandinaviassa, Venäjällä ja Baltiassa. Suomessa se johtaa teurastamoteollisuuden markkinoita. Vuonna 2015 yritys työllisti maailmalla keskimäärin 4270 henkilöä, joista Suomessa keskimäärin 2214 henkilöä. Atrian liikevaihto vuonna 2015 oli noin 1,3 miljardia euroa, tästä Atria Suomen liikevaihtoa on 929 miljoonaa euroa. (Atria Oyj 2016a.)

Atria tunnetaan tällä hetkellä maailman jäljitettävimpänä lihatalona. Vuonna 2012 lanseerattiin perhetiloille jäljitettävät broilerituotteet, nyttemmin linjaa on jatkettu porsaan- ja naudanlihatuotteisiin. (Atria 2016.)

### 1.4.1 Historia

Atria on saanut alkunsa vuonna 1903 Kuopion Karjanmyyntiosuuskunnasta, joka oli ensimmäinen suomalainen lihan tuotannon osuuskunta. Sittemmin Seinäjoelle 1914 perustettu karjanmyyntiosuuskunta Itikka lienee kuitenkin tunnetuimpia Atrian juuria. Sen 1937 valmistuneen makkaratehtaan paikka tunnetaan edelleen Itikanmäkenä. (Atria Oyj 2016b.)

1963 Atria sai nimen Atria. Alun perin nimi oli Tuottajain Lihakeskuskunnan tuotemerkki, sittemmin kun TKL purettiin Atria sai yksinoikeuden nimeensä. Vuonna 1977 Itikka alkoi siirtää tuotantoaan Nurmoon. Nurmon tehtaalla valmistetaan edelleen suurin osa Suomessa valmistettavista Atrian tuotteista. (Atria Oyj 2016b.)

Atria on tehnyt maailman pisimmän lenkkimakkaran, 42 metriä, vuonna 1998 ja päässyt sillä Guinnessin ennätyskirjaan. Sittemmin ennätys on rikottu. (Atria Oyj 2016b.)



Kuvio 2. Atria on maailman jäljitettävin lihatalo.  
(Atria 2016)

### 1.4.2 Nurmon tehdas

Atrialla on suomalaisia tuotantolaitoksia Kuopiossa, Kauhajoella, Forssassa, Sahalahdella, Jyväskylässä ja Nurmossa. Nurmon toimipiste on näistä suurin. (Atria 2016a.)

”Nurmon lihakylä” työllistää nykyään yli 1500 ihmistä. Se on Etelä-Pohjanmaan suurin työllistäjä. Nurmon tehtaalla on Atrian sika- ja broileriteurastamo sekä lihan jatkojalostuslinjastot. Nurmossa tehdään myös suuri osa Atrian eineksistä: salaatit, voileivät, laatikot ja valmisateriat. Nurmossa on siten mittava määrä erilaisia koneita ja linjastoja, sekä laajat laitevarastot varaosille. Nurmossa sijaitsee myös yksi Suomen moderneimmista logistiikkakeskuksista. Logistiikkapuolella on myös oma varaosavarastonsa. (Atria Oyj 2016a.)

Atria jatkaa edelleen kehittymistään, ja vuoteen 2017 mennessä Nurmoon on rakentumassa uusi edistyksellinen lihanleikkaamo, johon on sijoitettu noin 36 miljoonaa euroa (Atria Oyj 2016b).

## 2 KONDENSAATTORIT

Kondensaattoreiden hajoaminen aiheuttaa noin 30 % koneiden rikkoutumisista (Venet, Lahyani, Grellet & Ah-Jaco 1999). Niillä on tietyn mittainen elinikä jota ei pysty merkittävästi parantamaan, ellei laite ole ollut varastoituna, ”nukkumassa”. Varastoidun laitteen oikealla käyttöäotolla kondensaattori saadaan herätettyä oikein, ja sen käyttöikä ei ole varastoinnin takia lyhentynyt.

Kondensaattorin tarkoitus on tasata jännitettä virtapiirissä, varastoida energiaa sekä erottaa vaihtojännite tasajännitteestä. Kondensaattorilla voidaan esimerkiksi tasoittaa virtapiikkejä. Kondensaattorin varauskyvyn suure on kapasitanssi, jota ilmaistaan faradein. Kapasitanssi on riippuvainen levyjen alasta, etäisyydestä ja eristeaineen permittiivisyydestä. Suurimman kapasitanssin saa aikaan suurella levykoolla ja pienellä eristevälillä. (Haiko 2009, 191.)

Kapasitanssin yhtälö:

$$C = \frac{\rho \cdot A}{l} \quad (1)$$

missä

$C$	on kapasitanssi
$\rho$	on eristeaineen permittiivisyys
$A$	on levyjen pinta-ala
$l$	on levyjen etäisyys toisistaan.

Kondensaattori rikkoutuu, jos jännite kasvaa liian suureksi ja tapahtuu ns. läpilyönti. Tätä rajaa kutsutaan läpilyöntikestävyydeksi. (Haiko 2009, 191.)

### 2.1 Kondensaattorityypit

Kondensaattoreita on useita eri tyyppisiä eri tarkoituksiin. Jollei muuta mainita, tämän työn kondensaattoreilla tarkoitetaan elektrolyyttikondensaattoreita. Yleisimmät

muut kondensaattorityypit on esitelty pintapuolisesti, lisätietoa niistä saa esimerkiksi lähdeluettelon teoksista.

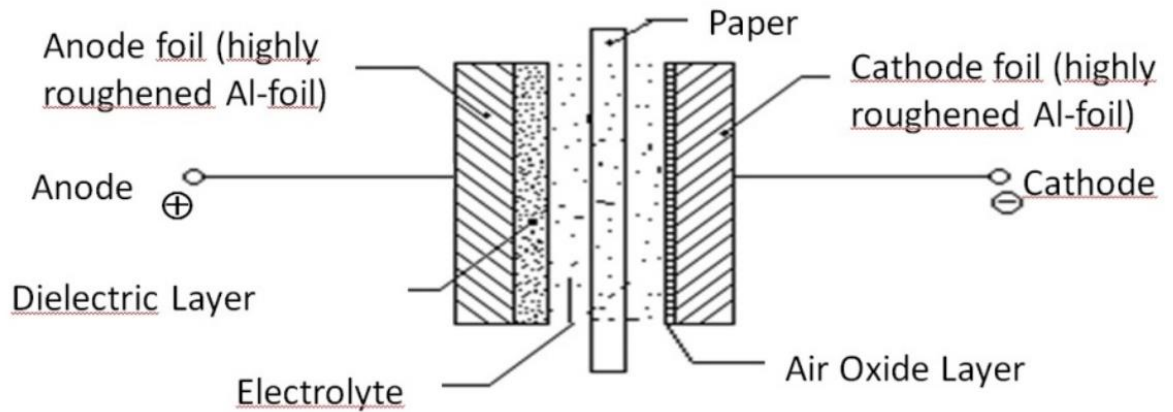


Kuvio 3. Erilaisia kondensaattoreita.  
(Electrical Engineering Portal 2013.)

### 2.1.1 Elektrolyyttikondensaattorit

Elektrolyyttikondensaattoreiden ominaispiirteenä on erilainen anodi- ja katodipuoli, joten niitä käytettäessä tulee ottaa huomioon, miten päin kondensaattori kytketään. Väärin päin kytkettäessä kondensaattori saattaa jopa räjähtää. Elektrolyyttikondensaattorilla on kohtuullisen suuri kapasitanssi. (Niiranen 2001, 167.)

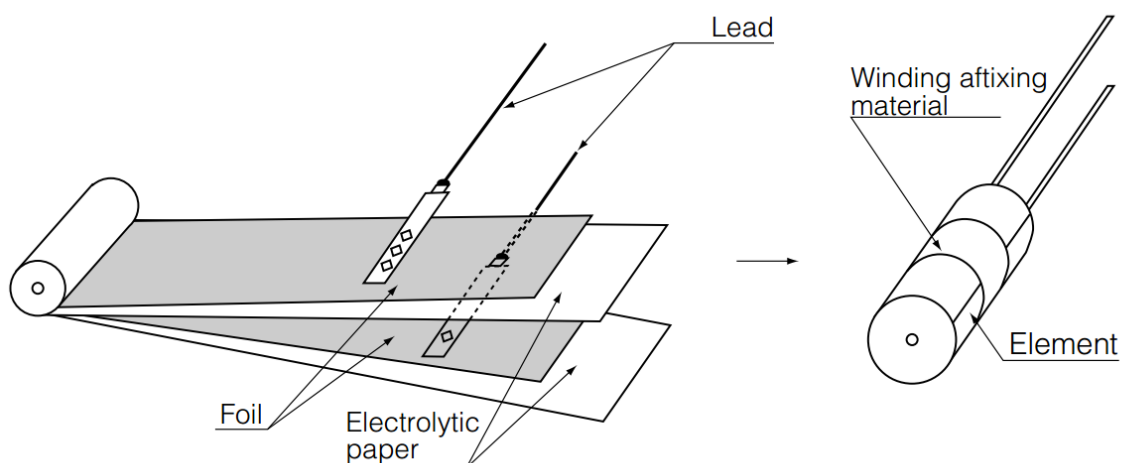
Elektrolyyttikondensaattori rakentuu kahdesta toisistaan irrallisesta metallilevystä (yleensä alumiini), joiden välillä on elektrolyyttejä ilmassa tai nesteessä toimimassa eristeenä. Teollisesti sarjatuotetuilla alumiinikondensaattoreilla väliaine on yleensä elektrolyyttiliuokseen kastettu elektrolyttipaperi. Levyistä toinen on anodi ja toinen katodi. Vain anodi on anodisoitu, eli peitetty oksidikalvolla. Alumiinilevyt eivät ole tasaisia vaan sienimäisiä, koska niitä on syövytetty epätasaisiksi pinta-alan lisäämiseksi. (Niiranen 2001, 170.)



Kuvio 4. Levykondensaattori.  
(Albertsen 2010.)

**Elektrolyyttineste.** Elektrolyyttinesteeltä vaaditaan hyvä sähkönjohtavuus, kyky korjata eristävän oksidikerroksen sen vahingoittuessa, kemiallista vakautta anodi- ja katodikalvojen kanssa ja sillä on oltava pieni höyrynpaine (Nichicon Corporation 2016).

Näiden tekijöiden lisäksi on otettava huomioon kondensaattorin käyttöolosuhteet, etenkin lämpötila. Esimerkiksi lämpötilan runsas nousu yleensä lisää elektrolyyttinesteen viskositeettiä ja vähentää resistanssia. Vielä korkeampiin lämpötiloihin noustessa saatetaan saavuttaa nesteen kiehumispiste, jolloin neste höyrystyy, nostaa painetta ja räjäyttää kondensaattorin. (Albertsen 2010.)



Kuvio 5. Rullattu kondensaattori.  
(Nichicon Corporation 2016.)

Elektrolyyttinesteiden tarkka koostumus on hyvin pitkälle salattua, jotta valmistajien tuotteita ei päästä kopioimaan.

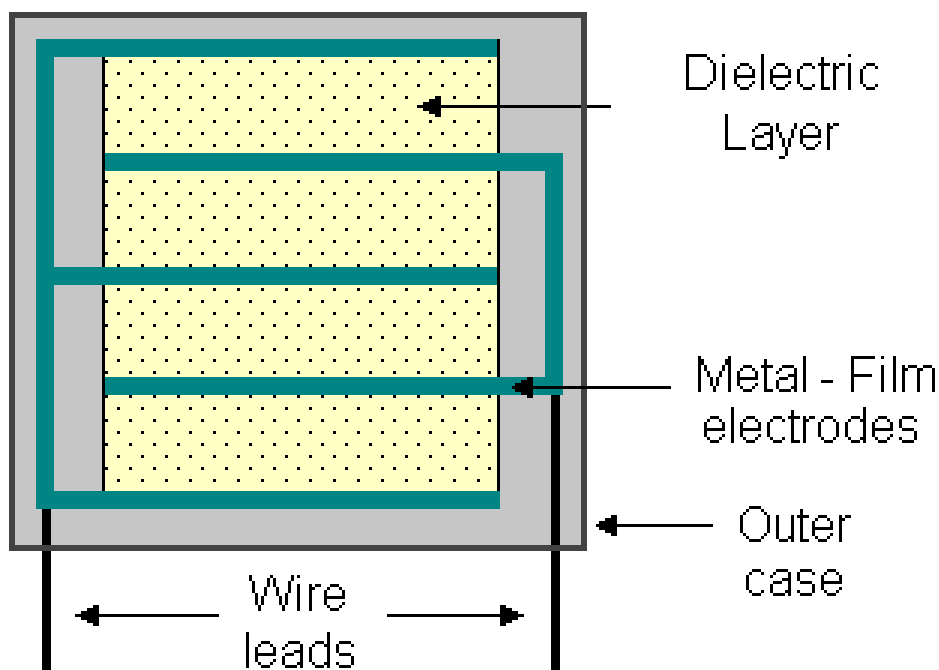
### 2.1.2 Metallipaperikondensaattorit

Metallipaperikondensaattori on nimensä mukaisesti paperi, jonka toisella puolella on metallikerros. Paperi toimii näissä kondensaattoreissa eristeenä. Metallipaperikondensaattorit ovat elektrolyyttikondensaattoreita isompia ja vievät enemmän tilaa. (Niiranen 2001, 170–172.)

Metallipaperikondensaattorit ovat ns. itseparantavia. Lämpilyönti höyrystää lämpilyöntikohtaa ympäröivän metallin, joka katkaisee virran kulun. (Niiranen 2001, 170–172.)

Metallipaperikondensaattorissa on useita eriste- ja metallikerroksia. Metallikerrokset eivät ole kokonaan päällekkäin, ja kummankin puolen ylimenevät osat ovat yhteydessä toisiinsa. (Niiranen 2001, 170–172.)

Rakenne on esitetty kuviossa 6.



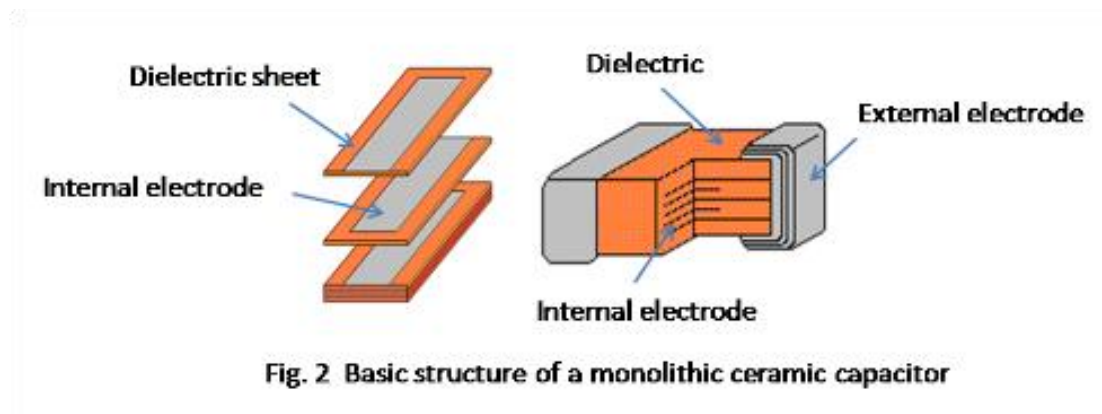
Kuvio 6. Metallipaperi- ja muovieristeisen kondensaattorin rakenne. (Electronics Tutorials 2016.)

### 2.1.3 Muovieristeiset kondensaattorit

Muovieristeisissä kondensaattoreissa käytetään muovia eristeenä metallikerrosten välissä. Rakenne muistuttaa metallipaperikondensaattoreita, mutta paperi on korvattu muovilla. Muovieristekondensaattorin etuna ovat pienet jännitehäviöt. (Niiranen 2001, 172–173.)

### 2.1.4 Keraamiset kondensaattorit

Keraamisen kondensaattorin eriste on keraamista.



Kuvio 7. Keraamisen kondensaattorin rakenne.  
(Murata Manufacturing Co 2011.)

Oheisessa kuviossa on esitetty keraamisen kondensaattorin rakenne, jossa on pinottu päällekkäin keraamisia kalvoja ja elektrodien liitettyjä metallikalvoja. Keraaminen pinnoite on kussakin elektrodissa toispuolinen niin että kondensaattorin kumpikin pää on yhteydessä eri elektroneihin.

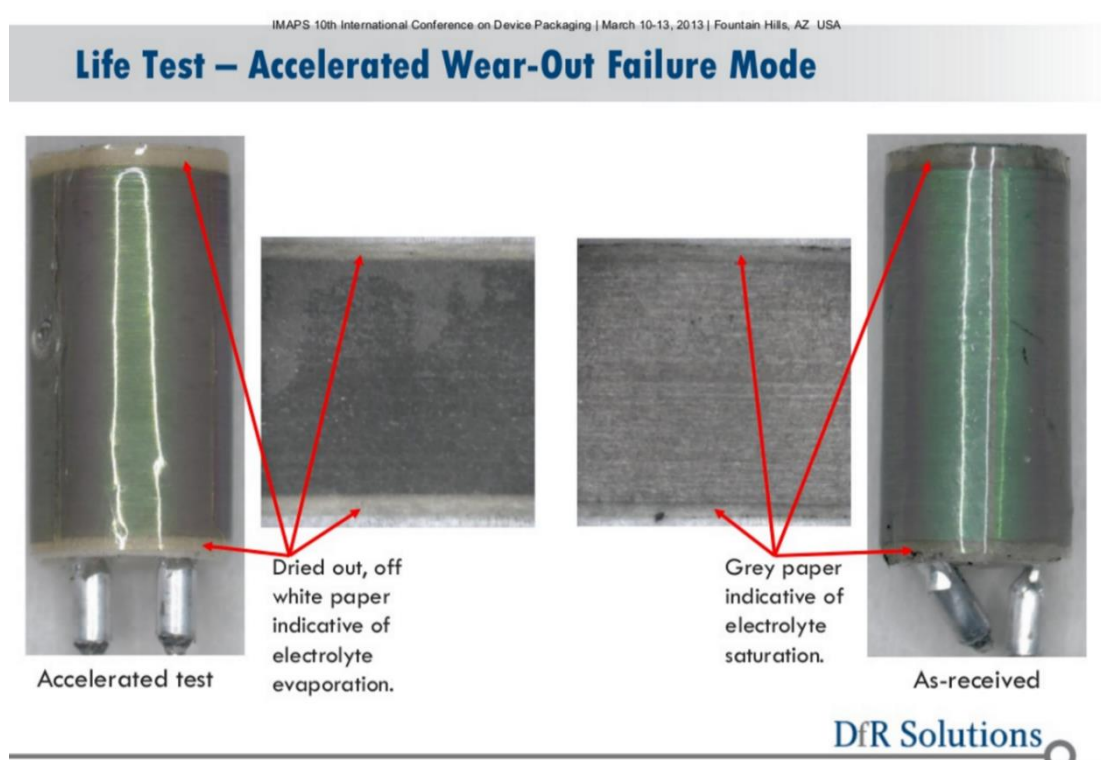
Tyypillistä keraamisille kondensaattoreille on niiden kapasitanssin riippuvuus lämpötilasta. Kapasitanssi alenee mitä korkeampaan lämpötilaan mennään. Keraamisilla kondensaattoreilla on pieni kapasitanssiarvo, ja niissä on hyvin pieni sisäinen induktanssi. Juuri pienen kapasitanssin takia niitä käytetään usein alumiinikondensaattoreiden rinnalla. (Niiranen 2001, 174.)



## 2.2 Vanheneminen ja varastoinnin ongelmat

Kondensaattoreissa on aina vuotovirta, jonka määrä yleensä kasvaa iän ja varsinkin varastoinnin aikana. Tätä voidaan vähentää jo valmistusvaiheessa erilaisilla valinnoilla, mutta sitä ei voida kokonaan poistaa. Pitkään varastoiduissa laitteissa oksidikerros heikkenee ja ongelmaksi koituu kondensaattoreiden liiallinen vuotaminen. (Nichicon Corporation 2016.)

Vanhentuneen ja varastoidun kondensaattorin erona on, että vanhassa, pitkään käytössä olleessa laitteessa elektrolyytti on ehtinyt kuivumaan pois. Varastoidussa laitteessa elektrolyyttiliuos sen sijaan on reagoinut oksidikerroksen kanssa, jolloin se on elvytettävissä. Laitetta, jossa elektrolyyttiliuos on kuivunut pois, ei voida elvyttää. (Sencore 2016.)

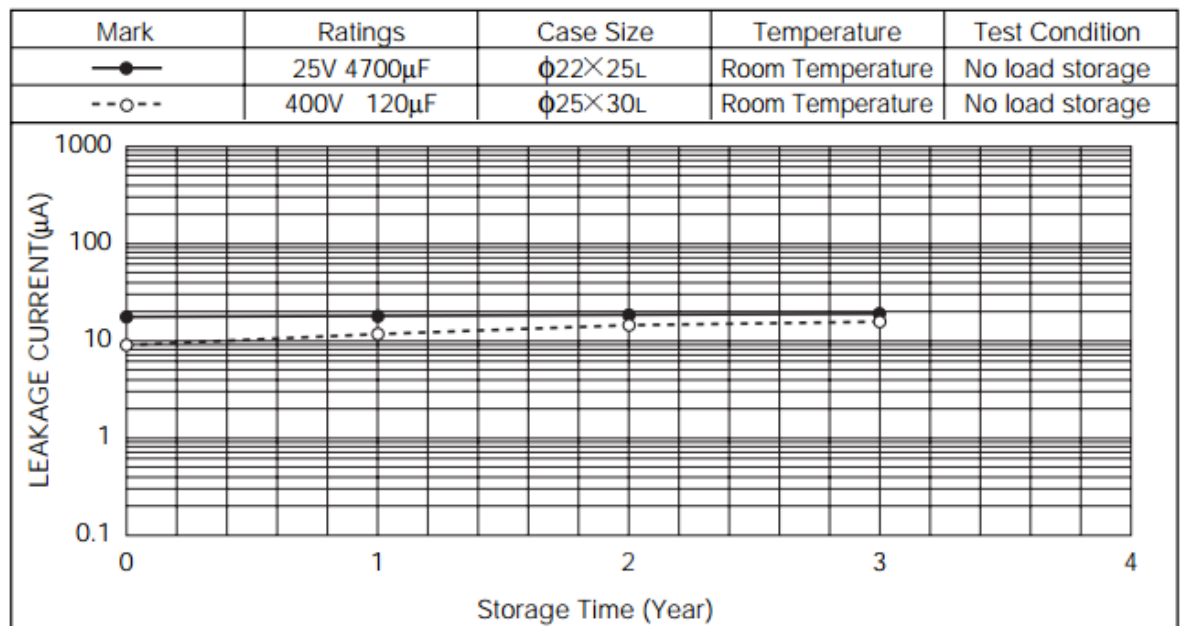


Kuvio 8. Vanha kuivunut kondensaattori ja nuori kostea kondensaattori. (Gulbrandsen, Cartmill, Arnold, Kirsch & Caswell 2014.)

Itse varastointi suositellaan tehtäväksi 5–35 asteen lämmössä, ja ilmankosteuden ollessa alle 75 %. Lisäongelmia vanhareneville laitteille tuottaa näistä arvoista poikkeaminen, sekä esimerkiksi veden tai öljyn kanssa kosketuksiin joutuminen (Nichi-

con Corporation 2016). Atrialla näitä ongelmia ei pitäisi olla, sillä laitteiden säilömis-  
lämpötila on 12–20 astetta, ja ilmankosteudesta huolehditaan ilmanvaihdoilla. Elekt-  
roniikkalaitteet varastoidaan samassa paikkaa erillään laitteista, joista voisi seurata  
öljyvuotoja.

Liiallinen vuotaminen varastoinnin seurauksena johtuu oksidikerroksen hapettumi-  
sesta anodissa sen reagoidessa elektrolyyttiliuoksen kanssa. Kun laitteeseen ale-  
taan johtaa matalaa jännitettä, elektrolyytti muodostaa oksidikerroksen uudelleen.  
(Nichicon Corporation 2016.)



Kuvio 9. Vuotovirran kasvu suhteessa varastointivuosiin.  
(Nichicon Corporation 2016.)

Jos vanhaan kondensaattoriin johtaa liikaa jännitettä liian nopeasti, saattaa konden-  
saattori kuumentua niin että neste alkaa kiehua. Näin paineen kasvaessa konden-  
saattori saattaa jopa räjähtää. Isommissa kondensaattoreissa on tämän estämiseksi  
ylipaineventtiili. Toisaalta elektrolyyttipaperi saattaa syttyä palamaan ja muodostaa  
hiiltä, joka toimii johtimena ja pilaa kondensaattorin. Virheellinen oksidikerros myös  
madaltaa läpilyöntikestävyyttä. (Robinson 2003.)

### 3 ELVYTYS

Valmistajat suosittelevat ”voltage treatment”-tapaa eli elvyttämistä pitkään varastoiduille kondensaattoreille. Tämä tapahtuu johtamalla kondensaattoriin sen käyttöjännitettä alempaa jännitettä ja nostamalla sitä hiljalleen korkeammaksi. (ABB Oy 2012.)

Alle kaksi vuotta varastoituja laitteita voi käyttää ilman elvyttämistä (Siemens AG 2003).

Jos laite on ollut jo pitkään käytössä kun sen kondensaattori on lakannut toimimasta, ei kannata kokeilla elvytystä. Todennäköisesti kondensaattori on tullut käyttöikänsä päähän, ja helpointa on vaihtaa se uuteen. (Robinson 2003.)

Kondensaattorin elvytystarpeen pystyy tarkistamaan yksinkertaisesti kytkemällä siihen jännitteen ja mittaamalla virtamittarilla vuotovirran. Lisääntynyt vuotovirta on merkki oksidikerroksen puutteista. (Reese 2016.)

#### 3.1 Elvytyksen teoriaa

Jos kondensaattorin elektrolyyttineste ei ole vanhuuttaan kuivunut vaan ainoastaan reagoinut oksidikerrosta tuhoavasti, on kondensaattori mahdollista palauttaa käyttökuntoon. Elvytys perustuu anodin oksidikerroksen uudelleenmuodostumiseen laitteeseen jännitettä johdettaessa. Jos jännitettä nostaa liikaa, lyö se läpi heikentyneestä oksidikerroksesta, mutta hiljalleen nostamalla se alkaa uudelleen muodostaa oksidikerrosta. Tämä oksidikerroksen uudelleenmuodostaminen on eräs elektrolyttikondensaattorien ominaisuuksista. (Reese 2016.)

#### 3.2 Elvytys- ja korjauskeinot

Keinoja vanhojen laitteiden käyttöönottoon on useita. Tässä elvytyskeinojen lisäksi on esitelty myös kondensaattoreiden vaihto, sillä parhaistakin elvytysyrityksistä huo-

limatta se saattaa tulla tarpeelliseksi. Kaikki elvytyskeinot perustuvat aiemmin esitettyyn jännitteen hitaaseen nostamiseen. Se on toteutettu jännitemittarin kanssa, vastusten kautta ja jännitettä valmiin kaavion mukaan nostamalla.

### **3.2.1 Kondensaattorin vaihto**

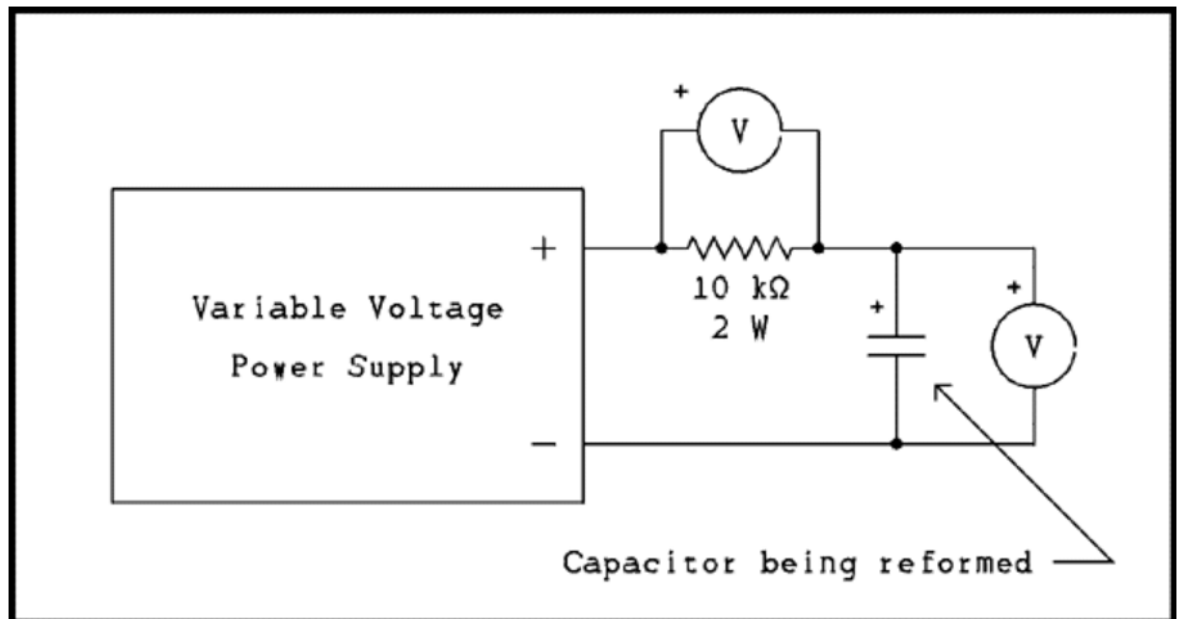
Puhuttaessa vanhoista kodinkoneista, kuten radioista tai televisioista, helpoin tapa on yksinkertaisesti vaihtaa kondensaattorit. Näin ei tarvitse selvittää, ovatko kyseiset laitteet varastoitu paljon käytettyinä tai uusina. Kondensaattoreita vaihtaessa voidaan vaihtaa kaikki tai vain osa. Kondensaattori ei ole osana kovin kallis, joten helpoimmalla pääsee vaihtamalla kaikki kerralla. On kuitenkin myös mahdollista käydä kondensaattorit läpi kapasitanssimittarin kanssa ja paikallistaa rikkiäiset, ja vaihtaa vain ne. (Reese 2016.)

Kun kyseessä ovat Atrian varastoidut laitteet, tiedetään usein varsin tarkkaan, ovatko ne olleet käytössä ennen varastointia ja kuinka pitkään, vai ovatko laitteet uusia. Suurin osa laitteista on uusia, joten kondensaattoreiden vaihto ei liene ensisijainen vaihtoehto tässä työssä.

Tuotannosta poistuneiden laitteiden kohdalla kannattaa kuitenkin ottaa kondensaattoreiden vaihtokin huomioon, kun etsitään keinoja pidentää käytössä olleiden laitteiden elinikää.

### **3.2.2 Elvytys jännitettä nostamalla vuotovirtaa tarkkailemalla**

Käyttämättömän olleen kondensaattorin voi elvyttää nostamalla hitaasti jännitettä ja tarkkailemalla samalla vuotovirtaa. Tässä menetelmässä se tapahtuu kytkemällä kondensaattori säädettävään jännitelähteeseen ja jännitemittariin. Liitäntään lisätään myös sopiva vastus. Jännitemittari kytketään vastukseen sekä kondensaattoriin alla olevan kuvion 10 mukaan. Tämä sama kytkentä voidaan tehdä myös virtaa tarkkailemalla, mikä sekin on toimiva vaihtoehto. (Reese 2016.)

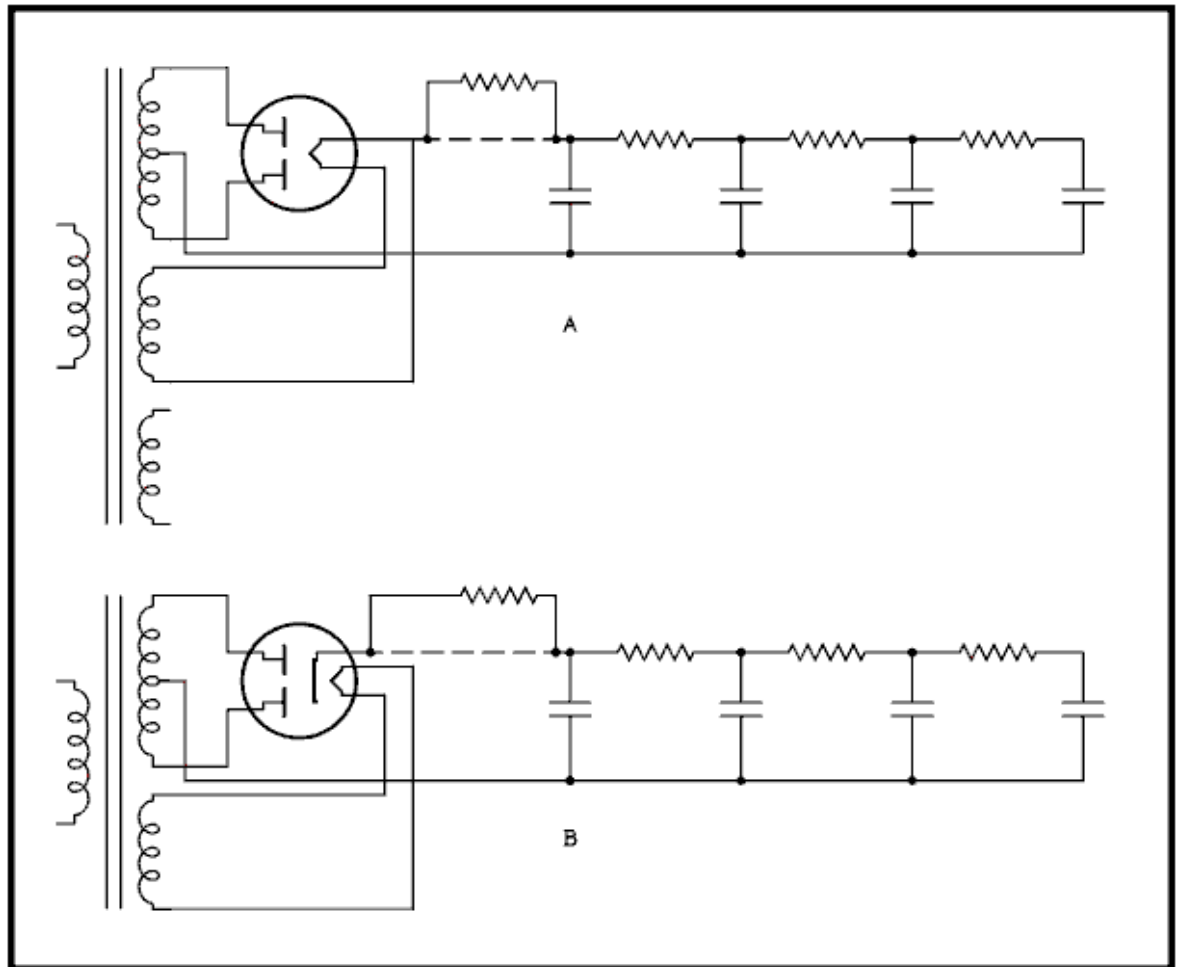


Kuvio 10. Jännitemittareiden sijoitus kondensaattoria elvytettäessä.  
(Robinson 2003.)

Jännitettä lähdetään nostamaan hiljalleen. Samalla tarkkaillaan mittareiden lukemia. Vastukseen kytketyn jännitelähteen jännitteen pitäisi alkaa hiljalleen laskea. Jännitettä pidetään samassa lukemassa kunnes vastuksen mittarin arvo on laskenut niin alas että vuotojännite on hyväksyttävissä lukemissa, minkä jälkeen jännitettä taas nostetaan. Näin jatketaan, kunnes jännitelähde on kondensaattorin käyttöjännitteessä. (Robinson 2003.)

### 3.2.3 Elvytys vastusten kautta

Elvytys on mahdollista toteuttaa ilman säädettävää jännitelähdettä. Tällöin tarvitaan erikokoisia vastuksia ja jännitemittari. Vastukset kytketään kuvion 11 mukaan. Kytettäessä tulee ottaa huomioon, että eri tasasuuntaimille on omat kytkentänsä. Kuvion kytkentä on tehty elektroniputkilla, jotka nykykytkennöissä on korvattu diodeilla. Tässä työssä ei kuitenkaan syvennytä tähän elvytystapaan tarkemmin joten kuvaa ei ole modernisoitu. (Robinson 2003.)



Kuvio 11. Kytkenöt vastuksella elvyttämiseen.  
(Robinson 2003.)

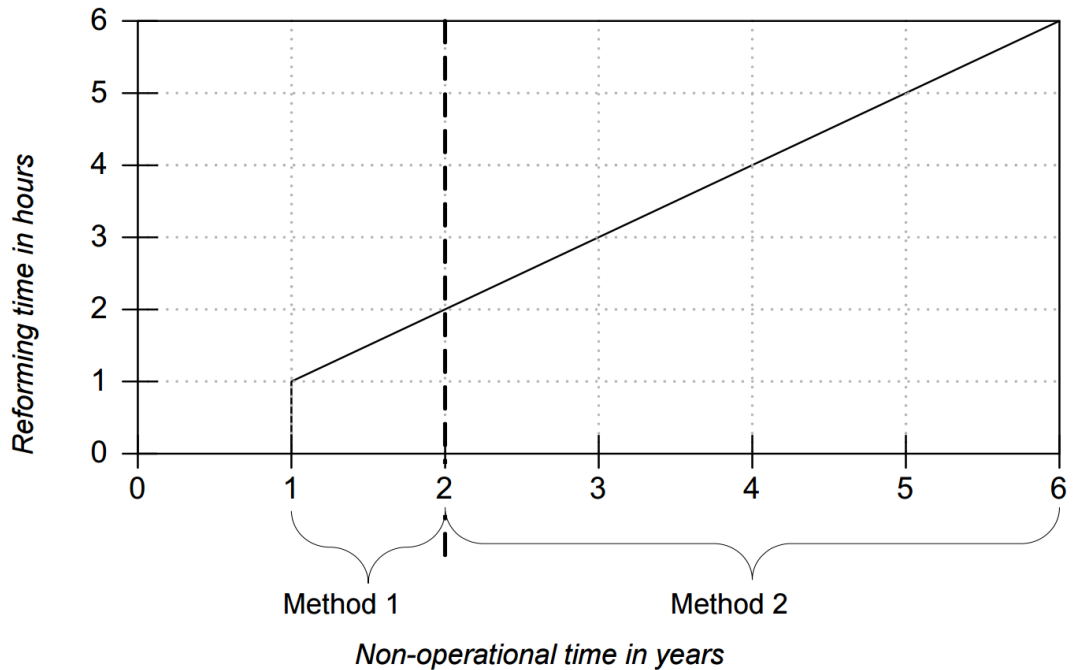
Elvyttäminen tapahtuu liittämällä ensimmäiseksi suuri vastus, ja vaihtamalla sitä siten pienempiin ja taas suurempiin varaten ja poistaen varausta kondensaattoreista.  
(Robinson 2003.)

Atrialla on mahdollisuus käyttää säädettävää jännitelähdettä, joten elvyttämistä eri kokoisilla vastuksilla ei käsitellä tässä työssä enempää.

### 3.2.4 Elvytys jännitettä nostamalla kaavion mukaan

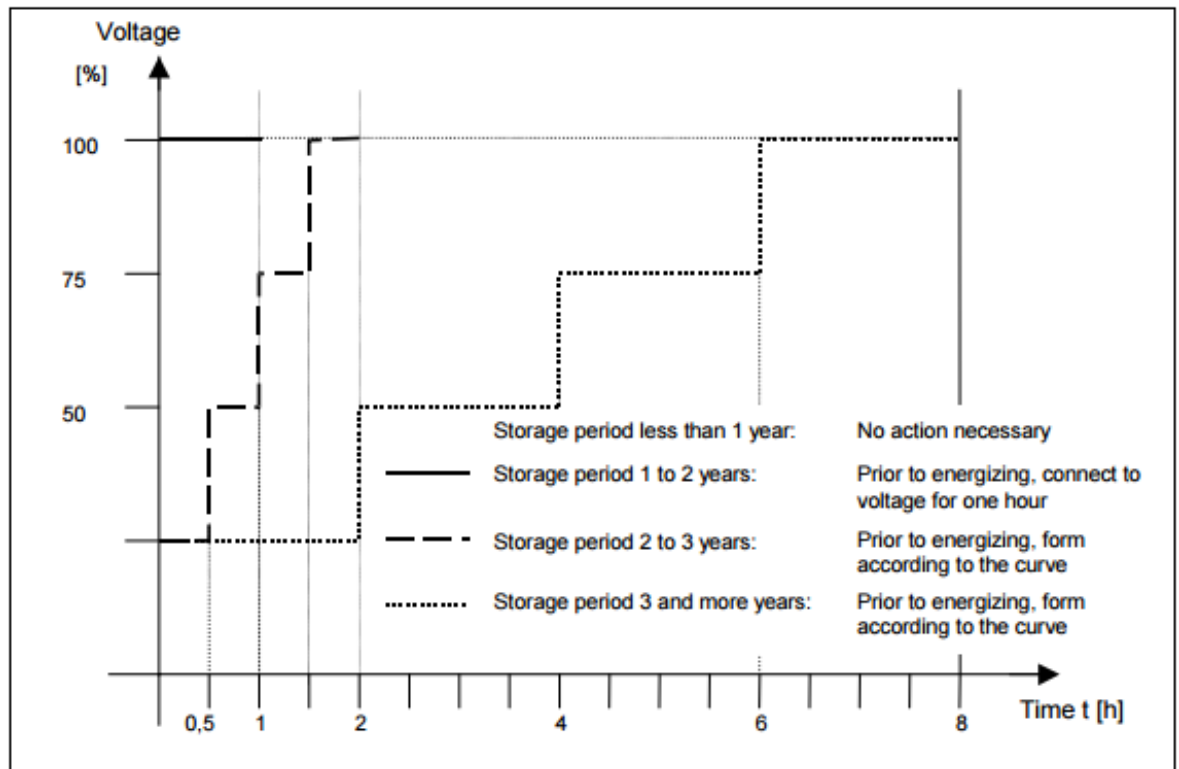
Elvytys nostamalla jännitettä ennalta suunnitellun kaavion mukaan vaatii säädettävän ja mielellään ohjelmoitavan jännitelähteen. Laittevalmistajien käsikirjoissa olevat elvytysohjeet suosittelevat portaittaista jännitteen nostoa. Valmistajat ovat luo-  
neet valmiita kaavioita jännitteen nostamisesta. (Siemens AG 2003.)

Yhteenvetona eri valmistajien elvytysohjeista päädyttiin nostamaan elvytysaika suoraan verrannollisesti laitteen ikään. Kuviossa 12 on esitetty elvytysaika. Käytännössä laitetta elvytetään aina yhtä monta tuntia kuin sitä on varastoitu vuosina.



Kuvio 12. Laitteen elvytysaika.  
(ABB Oy 2012.)

Jännitteen nostaminen tulee tehdä portaittain. Lähteiden (mm. ABB Oy 2012, Siemens AG 2003.) pohjalta päädyttiin jännitteen nostamiseen neljässä vaiheessa seuraavasti: Ensimmäinen neljäsosa elvytysajasta 25 % käyttöjännitteestä, seuraava neljäsosa 50 % käyttöjännitteestä, kolmas neljäsosa 75 % käyttöjännitteestä ja viimeinen neljäsosa 100 % käyttöjännitteestä. Kuviossa 13 on malli Siemensin käyttöohjeesta jonka pohjalta nostamiseen tällä tavoin on päädytty. Osa lähteistä suosittelee nostamaan jännitettä alkaen 50 % käyttöjännitteestä, mutta 25 % sopii varmasti kummankin suosituksen laitteille. (Siemens AG 2003.)



Kuvio 13. Portaittainen jännitteen nostaminen.  
(Siemens AG 2003.)

### 3.3 Toteutus ja ongelmat

Elvyttäminen tullaan käytännössä toteuttamaan kytkemällä säädettävä jännitelähde laitteeseen ja nostamalla jännitettä hiljalleen. Ongelmaa tulee tuottamaan laitteiden erilaiset rakenteet. Jokaisesta elvytettävästä laitteesta on tutkittava, saako virran kytkennällä johdettua jännitteen suoraan kondensaattoriin, vai onko välissä muita komponentteja. Aiemmat komponentit eivät välttämättä päästä matalampia jännitteitä lävitse kondensaattoriin asti, jolloin elvyttäminen on turhaa, ja kondensaattoriin pääsee vasta normaali käyttöjännite. Tässä tapauksessa laite on avattava, ja kytkettävä jännite suoraan kondensaattoriin.

Seuraavassa luvussa on lueteltu erilaisia elvytettäviä laitteita ja niille sopivia elvytysvaihtoehtoja. Ensisijaisesti pyritään löytämään kaavio, jonka mukaan jännitettä nostamalla saadaan mahdollisimman yleisluontoinen ja useimmille laitteille sopiva tapa nostaa jännitettä. Kuitenkin joidenkin laitteiden (esim. Lenze) kohdalla tullaan todennäköisesti päätyämään elvyttämiseen vuotojännitettä seuraamalla kokoaikaisessa valvonnassa.



## 4 ELVYTETTÄVÄT LAITTEET

Atrian elvytettävät laitteet ovat pääasiassa taajuusmuuttajia. Tarpeen ja mahdollisuuksien mukaan saatetaan tulla elvyttämään myös pehmokäynnistimiä, teholähteitä, ohjauspaneeleita ja väyläkortteja. Yhdeksi pääesimerkiksi valittiin Lenzen taajuusmuuttajat. Tässä työssä on tarkemmin esitelty vain todennäköisimmät elvytettävät taajuusmuuttajat ja pehmokäynnistimet.

### 4.1 Taajuusmuuttajat

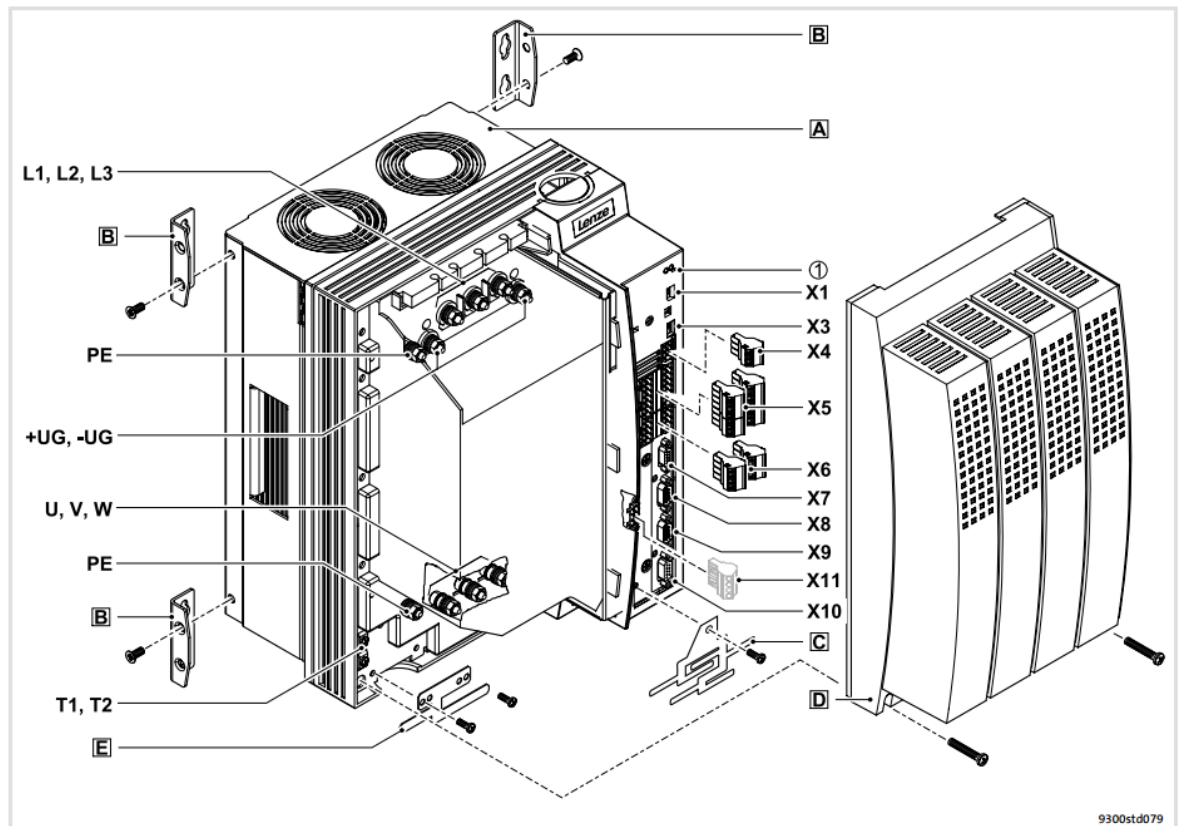
Taajuusmuuttaja on tehoelektroniikan laite, joka muuntaa taajuutta. Taajuusmuuttajia käytetään usein esimerkiksi sähkömoottoreiden pyörimisnopeuden säätöön. Taajuusmuuttaja pystyy säätelemään moottorin pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia portaattomasti. Tämä auttaa säästämään energiaa, sillä tavallisilla ohjausmenetelmillä nopeutta ei pystytä säätämään. (ABB 2008.)

Taajuusmuuttaja on erittäin yleinen kaikessa automaatiassa, ja Atrian Nurmon tehtaalla suurin osa elvytettävistä laitteista oli taajuusmuuttajia.

Tätä työtä varten tutkittujen taajuusmuuttajien jännitealueet vaihtelivat välillä 200–500 V.

#### 4.1.1 Lenze

Kuviossa 14 on kuva tyypillisen Lenze-taajuusmuuttajan rakenteesta, jossa näkyy myös virransyöttöliitännät.



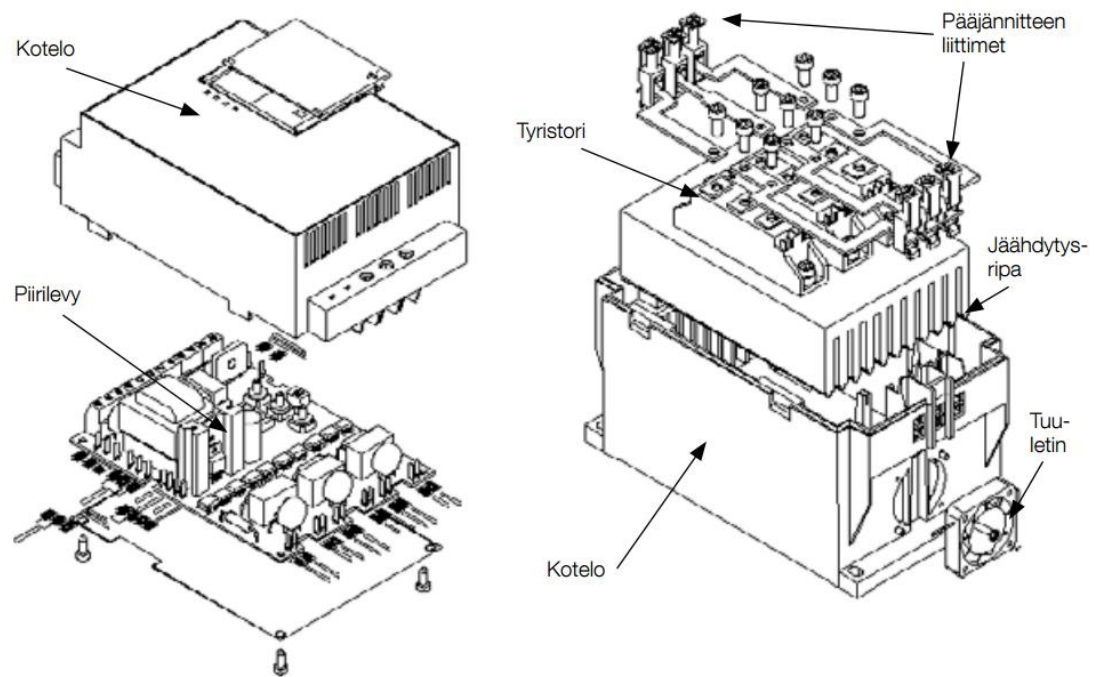
Kuvio 14. Lenzen 9300-sarjan laite. Virtaliitännät kuvassa +UG, -UG. (Lenze Drive Systems GmbH 2008.)

Lenzen taajuusmuuttajien käyttöohjeissa on maininta kondensaattoreiden elvyttämisestä, jos laitteet ovat pidempään kuin kaksi vuotta varastoituja. Elvytysohjeet löytyvät valmistajan kotisivuilta, ja ne perustuvat elvytykseen virtamittarin kera.

Tätä työtä varten tutkittujen Lenzen taajuusmuuttajien jännitealueet ovat välillä 230–400 V.

## 4.2 Pehmokäynnistimet

Pehmokäynnistin on oikosulkumoottoreiden pehmeään käynnistämiseen luotu sovellus. Sen tarkoitus on laitetta käynnistäessä antaa jännitettä hitaasti portaittain niin, ettei laite nytkähtele käynnistettäessä. Tällä tavoin käynnistämällä aloitusvirta, käynnistysmomentti ja laitteeseen kohdistuva rasitus vähenevät. Pehmokäynnistintä voi käyttää myös laitteen hitaaseen pysäyttämiseen. (ABB 2011.)



Kuvio 15. ABB:n pehmokäynnistin.  
(ABB 2011.)

Tätä työtä varten tutkittujen pehmokäynnistimien jännitealueet ovat välillä 400–480 V.

## 5 LAITETURVALLISUUS

Automaatiolaitteita elvyttävän laitteen kehittämisessä on otettava huomioon laitetta käyttävän henkilön turvallisuus. Todennäköisiä vaaratilanteita tässä tapauksessa ovat sähköiskut.

### 5.1 Standardit ja asetukset

Yleensä konetta rakentaessa tulee ottaa huomioon konedirektiivi, 2006/42/EY ja sen sisältävä pienjännitedirektiivi, 2006/95/EY. Rakennettava laite ei kuitenkaan ole kone, joten tässä tapauksessa pelkästään pienjännitedirektiivi on otettava huomioon sitä suunnitellessa. Kun laite on käyttöön otettu, sitä ei enää koske pienjännitedirektiivi, vaan käyttöpäätös, 403/2008. (Siirilä 2008, 28.)

Laitteen valmistajan on tehtävä laitteesta vaatimuksenmukaisuusvakuutus, jonka jälkeen siihen voidaan laittaa CE-merkki. Vaatimuksenmukaisuusvakuutus on tehtävä jokaisesta EU:n alueella olevasta laitteesta. Vakuutus tehdään ISO-standardin pohjalta, SFS-standardi ei riitä. Myös EMC-direktiivi tulee ottaa huomioon. (Siirilä 2008, 29.)

Laitteesta on tehtävä riskiarvio jo suunnitteluvaiheessa.

#### 5.1.1 Pienjännitedirektiivi 2006/95/EY

Pienjännitedirektiivi koskee laitteita jännitevälillä 50–1000 V AC ja 75–1500 V DC (2006/95/EY). Sen tarkoituksena on estää markkinoilla olevia laitteita aiheuttamasta vaaraa ihmisille, kotieläimille tai omaisuudelle. Pienjännitedirektiivi on määritetty sähköturvallisuuslaissa ja -asetuksessa, sekä KTM:n päätöksessä sähkölaitteiden turvallisuudesta. (Tukes 2015b.)

Pienjännitedirektiiviin on tulossa muutoksia 20.4.2016 alkaen, joten tätä laitteistoa suunniteltaessa kannattaa kiinnittää huomiota jo tähän uudistuneeseen versioon 2014/35/EU (2014/35/EU).

Pienjännitedirektiivin pääkohtina kosketuksesta ei saa aiheutua vaaraa, vaarallisia lämpötiloja tai valokaaria ja säteilyä. Eristyksen on oltava sopiva, laitteen on kestävä todennäköiset mekaaniset rasitukset, ja ylikuormittuminen ei saa aiheuttaa vaaraa. Jo aiemmin todettu lause tiivistää tämän hyvin: ihmiset, kotieläimet ja omaisuus on suojattava vaaralta. (Siirilä 2008, 34–35.)

### **5.1.2 Sähkömagneettista yhteensopivuutta (EMC) koskeva direktiivi**

Sähkömagneettisella yhteensopivuudella tarkoitetaan ettei laite aiheuta kohtuuttomia sähkömagneettisia häiriöitä sitä ympäröiville sähkölaitteille (Siirilä & Pahkala 2004, 50-51). Koneen tulee myös sietää siihen kohdistuva häiriö. Käytännössä huomioon tulee ottaa esimerkiksi matkapuhelimet. Helpointa on huolehtia tästä hankkimalla jännitelähde, joka jo täyttää tämän direktiivin.

### **5.1.3 Vaatimustenmukaisuusvakuutus ja CE-merkki**

Laitteen valmistajan on tehtävä vaatimustenmukaisuusvakuutus osoittamaan, että laite täyttää pienjännitedirektiivin ja EMC-direktiivin. Todisteena tästä laitteeseen kiinnitetään CE-merkki (Tukes 2015a). Todennäköisesti tätä projektia varten hankittavassa jännitelähteessä on jo CE-merkintä valmiina.



Kuvio 16. CE-merkki.  
(Tukes 2015a.)

#### 5.1.4 Valtioneuvoston asetus numero 403/2008 eli käyttöpäätös

Kun laite on valmis ja CE-merkitty, se otetaan käyttöön. Tällöin pienjännitedirektiivit, EMC-direktiivit ja muut eivät ole enää ajankohtaisia, sillä konetta koskee jatkossa ensisijaisesti käyttöpäätös. Käyttöpäätöksen ensimmäisiä vaatimuksia on, että on hankittava vain määräysten mukaisia koneita. Laitteen on siis kuitenkin täytettävä aiemmat direktiivit hankintavaiheessa. On otettava myös huomioon työpaikan olosuhteet ja tehtävä työ. Pelkkä CE-merkintä ei riitä, vaan laitteen on myös sovittava turvallisesti sille ajateltuun tehtävään. (A403/2008.)

**Kunnossapito sekä käyttöönotto- ja määräaikaistarkastukset.** Käyttöpäätöksen mukaan laitteille on tehtävä sekä käyttöönottotarkastus että säännölliset määräaikaistarkastukset (Siirilä 2008, 43). Tarkkoja aikavälejä ei tämän kyseisen kaltaisille laitteille ole, mutta suositeltava väli tulee olemaan valmistajan ohjekirjassa ilmoittama huoltoväli.

## 5.2 Riskiarvio

Siirilä ja Pahkala (2004, 86) tiivistävät riskiarvioinnin kolme huomioonotettavaa tekijää seuraavaan lainaukseen:

Englantilaiset sanovatkin, että ohjausjärjestelmän turvallisuutta arvioitaessa on otettava huomioon kaikki kolme ”ware”a:

software (ohjelmisto)

hardware(laitteisto)

peopleware (ihmiset).

Riski on mahdollisten seurausten vakavuuden ja seuraukset aiheuttavan tapahtuman todennäköisyyden yhdistelmä. (Siirilä & Pahkala 2004, 86.)

Tätä kyseessä olevaa laitetta pohdittaessa ohjelmisto tullaan kehittämään mahdollisimman turvallisiksi. Laitteisto itse ei potentiaalisesti aiheuta mekaanista vaaraa,

koska se ei sisällä liikkuvia osia. Sen sijaan lämmitettävien laitteiden hajoamisesta aiheutuu mekaanistakin vaaraa. Sähköstä aiheutuvat vaarat ovat sen sijaan hyvinkin mahdollisia, joten niitä käsitellään omana lukunaan.

### 5.2.1 Sähköstä aiheutuvat vaarat

Laitteessa käytettävät jännitteet eivät itsessään ole kovin korkeita, mutta niiden aiheuttama virta saattaa aiheuttaa todellisia vaaratilanteita. Laite on kuitenkin kehitetty niin että ohjelmiston ja laitteiston ei pitäisi aiheuttaa sähkövaaroja, ja laitetta käyttävät ihmiset ovat koulutettuja ja ohjeistettuja niin että potentiaalista vaaraa ei pitäisi olla. Inhimillinen erehdys on tietysti aina mahdollinen, esimerkiksi horjahtamisen, ohjeiden väärin ymmärtämisen tai stressin ja työpaineen aiheuttaman keskittymiskyvyn herpaantumisen vuoksi (Siirilä 2009, 211–213).

### 5.2.2 Mekaaniset vaarat

Laitteen mahdollinen mekaaninen vaara on elvytyksessä menehtyvä kondensaattori. Pahimmassa skenaariossa kondensaattori räjähtää, ja huolimatta kondensaattorin pienestä koosta saattaa se aiheuttaa esimerkiksi silmävammoja.



Kuvio 17. Räjähtänyt kondensaattori.  
(Duntemann 2012.)

Tämän laitteiston tarkoitus on ehkäistä räjähdyksiä, joten niiden ei pitäisi olla kovin todennäköisiä. Myös näin tapahtuessa kondensaattori on laitteen kuoren sisällä, eikä avoimella paikalla. Kuitenkin tämän vaaran minimoimiseksi olisi suotavaa pysytellä kauempana laitteistosta sen päälle kytkemisen jälkeen ja käyttää sitä lähestyttäessä suojalaseja.



## 6 LAITTEEN SUUNNITTELU

### 6.1 Laitteen määrittely

Laitteeseen on oltava liitettävissä useita erilaisia laitteita. Tarkoituksena on, että näytölle voidaan syöttää laitteen varastointiaika, ja kone itse laskee tavan, jolla syöttää jännitteet laitetta lämmittääkseen. Järkevimpänä vaihtoehtona tähän koettiin säädettävä jännitelähde, jossa on jo valmiina tarvittavat tiedonsyöttönäytöt ja ohjelmistot. Joidenkin laitteiden elvytystä varten tulee hankkia myös jännitemittari kondensaattoreiden vuotovirran tarkkailemiseen.

### 6.2 Jännitelähde

Tärkeimmässä osassa tässä on itse jännitelähde. Tavoite on löytää sellainen, jossa olisi ohjelmat ja ohjelmistot jo valmiina.

Esimerkiksi Sorensen XHR Series voisi tarjota sopivan laitteen, kuten XHR 33-33 24 voltin tasajännitelaitteille. Kyseisessä laitteessa on ajurit LabVIEWille tai LabWindowsille (Ametek 2016). Näiden kautta olisi mahdollista ohjelmoida oikeanlaiset jännitteennostovälit. Laite antaa jännitettä nolasta kolmeenkymmeneen volttiin, joten se soveltuisi 24 voltin tasajännitelaitteille. Sarjasta löytyy myös laitteita muille jännitevaihtoehdoille.



Kuvio 18. Sorensen XHR.  
(Ametek 2016.)

Sorensen XHR-sarjan tuotteet ovat myös CE-merkittyjä, joten niiden pitäisi olla vaatimustenmukaisia ja turvallisia (Ametek 2009).

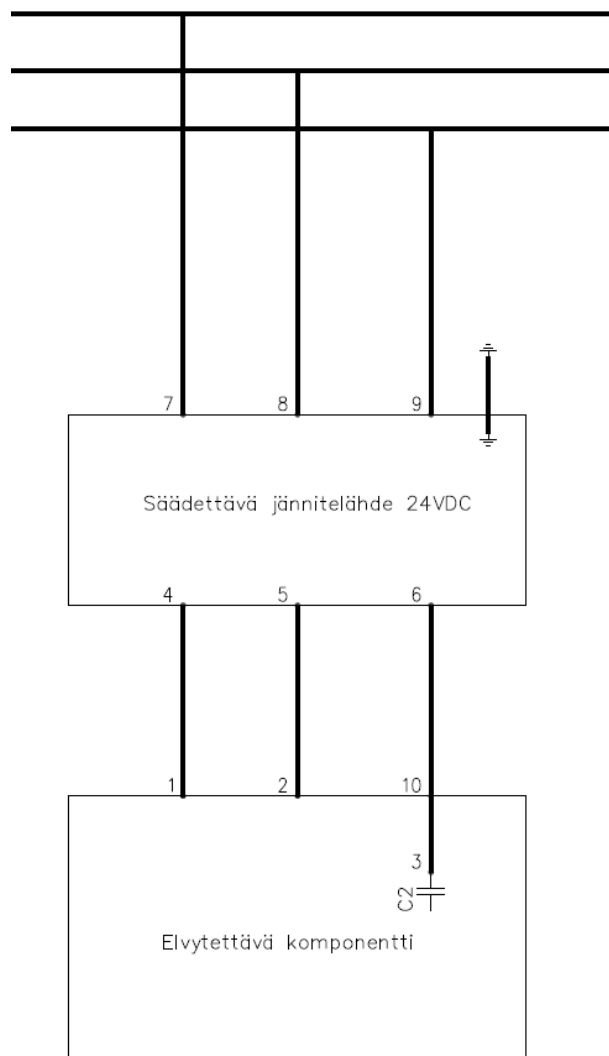
### **6.3 Liitännät**

Atrian elvytettäviä laitteita tutkittaessa huomattiin suurimmassa osassa liitäntöjen olevan yksinkertaisilla riviliittimillä. Suurin osa laitteista on myös suunniteltu niin, että jännitteen syöttö onnistuu avaamatta laitetta suoraan ulkoisesta virtaliitännästä, ja tähän käyttöohjeissa kannustetaan.

Yksittäisistä laitteista löytyi myös DB15F-liitin, ja osassa tulee varmasti kyseeseen laitteen avaaminen, jotta virta saadaan johdettua suoraan kondensaattoriin. Tätä mahdollisuutta varten kannattanee hankkia esimerkiksi hauenleukoja.

## 6.4 Piirikaavion suunnittelu

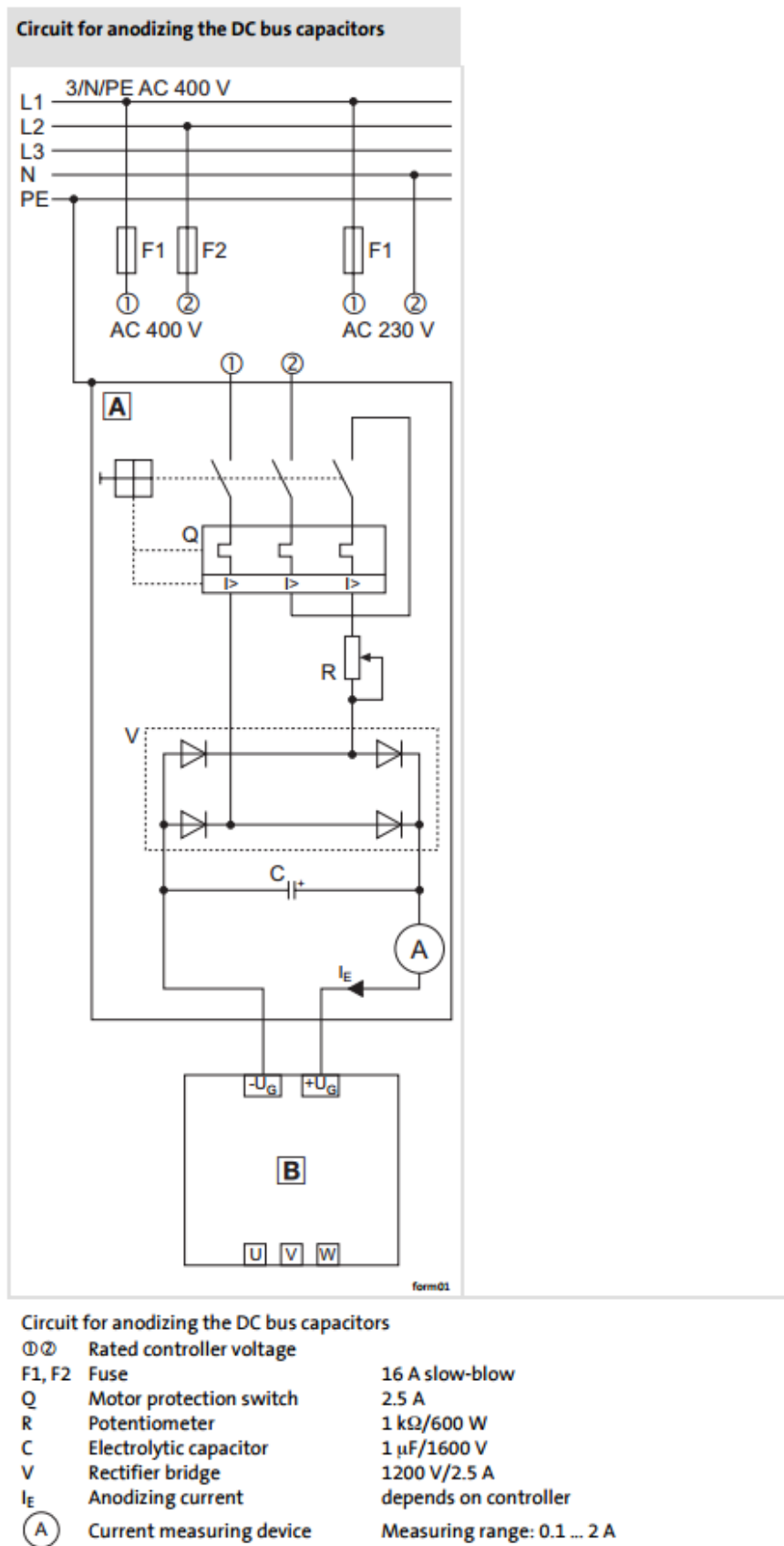
Kuvioon 19 on liitetty yksinkertainen jännitelähteen liitântäkaavio. Jännitelähde siis liitetään elvytettävään laitteeseen ennen kondensaattoria.



Kuvio 19. Piirikaavio jännitelähteen kytkennästä.

### 6.4.1 Piirikaavio Lenzen laitteiden elvytykseen

Lenzen laitteiden elvytykseen tullaan tarvitsemaan virtamittaria, joten niiden kytkennästä elvytystä varten on oma piirikaavionsa.



Kuvio 20. Liitännät Lenzen laitteiden elvytykseen.  
(Lenze Drive Systems GmbH 2007.)

## 6.5 Ohjelmisto

Tavoitteena on että laitteelle voitaisiin antaa laitteen varastointiaika vuosina ja käyttöjännite, ja laite itse laskisi tämän mukaan elvytysohjelman ja elvyttäisi laitteen. Koska tämä kyseinen jännitelähde on nimenomaan vain 24 VDC:n laitteille, tulisi antaa pelkästään varastointiaika.

Sorensen XHR-seriesissä on mukana LabVIEW. Laitteessa on myös oma ohjelmisto koodeineen, minkä kautta jännitteen nostamisen voi ohjelmoida. Tarkemmat ohjelmointiohjeet löytyvät laitteen ohjekirjasta, joka löytyy tämän työn lähdeluettelosta. (Ametek 2009.)

## 7 TULOKSET

Aihetta tutkittaessa löydettiin syy kondensaattoreiden rikkoutumisille pitkän varastoinnin jälkeen käyttöönottaessa. Työssä perehdyttiin erilaisiin elvytystekniikoihin, ja löydettiin niistä suositeltavimmat. Mahdollisimman moni laite pyritään elvyttämään voltage treatmentillä valmiin kaavion mukaan, joka on koottu eri lähteiden pohjalta. Kuitenkin esimerkiksi Lenzen tuotteille päädyttiin suositeltavammaksi elvyttämistä vuotovirtaa tarkkailemalla.

Atrialle ehdotetaan hankittavaksi säädettävä jännitelähde, esimerkiksi luvussa 5.2. ehdotettu Sorensen XHR 33-33. Jännitelähteeseen ohjelmoidaan luvussa 3.1 esitetyn mallin mukaan jännitteen nostaminen.

Lenzen laitteiden elvytysohjeesta tehtiin yhteenveto niiden elvyttämiseen. Käyttöohje on liitteenä.

Myös muiden laitteiden elvytyksestä on tehty ohjeet liitteiksi.

Tätä työtä kirjoittaessa laitteistoa ei ole vielä koottu eikä testattu.

## 8 POHDINTAA

Huolimatta huolellisista käyttöönottonenettelyistä automaatiolaitteet saattavat joka tapauksessa rikkoutua varastoinnin jälkeen. Tässä työssä on keskitytty nimenomaan kondensaattoreihin ja niiden vanhenemiseen, mutta varastoitavissa laitteissa on varmasti muitakin varastoinnista kärsiviä osia, joihin ei työn rajallisuuden ja varastoitavien laitteiden monimuotoisuuden vuoksi ehditty paneutua.

Ylipäättään paras tapa minimoida laiterikot olisi tilata aina uusi laite suoraan valmistajalta sellaista tarvittaessa. Kuitenkaan tämä ei aina ole mahdollista esimerkiksi laitteen valmistuksen lopettamisen, pitkän toimitusajan tai muun syyn takia. Isoissa tehtaissa laiterikoista johtuvat seisokit on minimoitava, jolloin laitteiden varastoinnilta ei voida välttyä.

Näin ollen tämän opinnäytetyön kaltainen pyrkiminen laitteiden rikkoutumisen minimoimiseen koettiin järkevänä. Mitä suuremmasta tehtaasta on kyse, sitä todennäköisempää on että laitteita on pakko varastoida. On siis oletettavaa, että tämän opinnäytetyön suunnittelema laitteelle on tarvetta muissakin yrityksissä, ja on toivottavaa että tästä työstä on hyötyä.

## LÄHTEET

2006/95/EY. Pienjännitedirektiivi.

2014/35/EU. Pienjännitedirektiivi. (Uusittu, astuu voimaan 20.4.16.)

A403/2008. Valtioneuvoston asetus työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta.

ABB Oy. 2012. Capacitor Reforming Instructions; Converter Modules With Electrolytic DC Capacitors In the DC Link. [Verkkosivu]. ABB Oy. [Viitattu 26.1.16]. Saatavana: [https://library.e.abb.com/public/37165e1130871216c1257b900048122a/EN\\_Capacitor\\_reforming\\_instructions\\_E.pdf](https://library.e.abb.com/public/37165e1130871216c1257b900048122a/EN_Capacitor_reforming_instructions_E.pdf)

ABB. 2008. Mikä taajuusmuuttaja on?. [Verkkosivu]. ABB. [Viitattu 18.4.16]. Saatavilla: <http://www.abb.com/cawp/db0003db002698/d5b664f5dd909412c1257291003ef7cc.aspx>

ABB. 2011. Pehmokäynnistinopas. [Käyttöohje]. ABB. [Viitattu 18.4.16]. Saatavilla: [https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12\\_01.pdf](https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf)

Albertsen, A. 2010. Electrolytic Capacitor Lifetime Estimation. [Verkkosivu]. Jianghai Europe GmbH. [Viitattu 26.1.16]. Saatavana: [http://jianghai-america.com/uploads/technology/JIANGHAI\\_Elcap\\_Lifetime\\_-\\_Estimation\\_AAL.pdf](http://jianghai-america.com/uploads/technology/JIANGHAI_Elcap_Lifetime_-_Estimation_AAL.pdf)

Ametek. 2009. Operating Manual for GPIB for XHR/XFR Series Power Supply. [Käyttöohje]. Ametek Programmable Power, Inc. [Viitattu 7.4.16]. Saatavana: [http://www.programmablepower.com/dc-power-supply/XHR/downloads/XHR\\_XFR\\_GPIB\\_Interface\\_TM-GPRF-01XN.pdf](http://www.programmablepower.com/dc-power-supply/XHR/downloads/XHR_XFR_GPIB_Interface_TM-GPRF-01XN.pdf)

Ametek. 2016. Sorensen XHR Series. [Verkkosivu]. Ametek Programmable Power, Inc. [Viitattu 7.4.16]. Saatavana: <http://www.programmablepower.com/dc-power-supply/XHR/Overview.htm>

Atria Oyj. 2016a. Atria-konserni. [Verkkosivu]. Atria Oyj. [Viitattu 14.1.2016]. Saatavana: <http://www.atriagroup.com/atria-konserni/Sivut/default.aspx>

Atria Oyj. 2016b. Atrian ensimmäiset 113 vuotta. [Verkkosivu]. Atria Oyj. [Viitattu 21.3.16]. Saatavana: <http://www.atriahistoria.fi/>



- Atria. 2016. Atria on maailman jäljitettävien lihatalo. [Verkkosivu]. Atria Oyj. [Viitattu 6.4.16]. Saatavana: <https://www.atria.fi/konserni/ajankohtaista/tiedotteet/2016/atria-on-maailman-jaljitettavin-lihatalo/>
- Duntemann, J. 2012. The Wonderful Exploding Intercom. [Verkkosivu]. Jeff Duntemann's Contrapositive Diary. [Viitattu 10.4.16]. Saatavilla: <http://www.contrapositediary.com/?p=2408>
- Electrical Engineering Portal. 2013. Super Capacitors – Different Than Others (part 2). [Verkkosivu]. Electrical Engineering Portal EEP. [Viitattu 9.4.16]. Saatavana: <http://electrical-engineering-portal.com/super-capacitors-different-than-others-part-2>
- Electronics Tutorials. 2016. [Verkkosivu]. Basic Electronics Tutorials. [Viitattu 19.4.16]. Saatavilla: [http://www.electronics-tutorials.ws/capacitor/cap\\_2.html](http://www.electronics-tutorials.ws/capacitor/cap_2.html)
- Gulbrandsen, S., Cartmill, K., Arnold, J., Kirsch, N. & Caswell, G. 2014. A New Method for Testing Electrolytic Capacitors to Compare Life Expectancy. [Verkkosivu]. DFR Solutions. [Viitattu 10.4.16]. Saatavissa: <http://www.sli-deshare.net/GregCaswell2/a-newmethodfortestingelectrolyticcapacitorstocomparelifeexpectancy-38929458>
- Haiko, T. 2009. Analoginen elektroniikka. Helsinki: WSOY Pro.
- Lenze Drive Systems GmbH. 2007. Anodizing the DC bus capacitors in controllers. [Käyttöohje]. Lenze Drive Systems GmbH. [Viitattu 15.4.16]. Saatavilla: [http://download.lenze.com/AKB/English/200701633/Anodizing\\_DC\\_bus\\_capacitors\\_v1-1\\_EN.pdf\\_v1-1\\_EN.pdf](http://download.lenze.com/AKB/English/200701633/Anodizing_DC_bus_capacitors_v1-1_EN.pdf_v1-1_EN.pdf)
- Lenze Drive Systems GmbH. 2008. 9300 15...30kW EVS9327...EVS9329 Servo Controller. [Käyttöohje]. Lenze Drive Systems GmbH. [Viitattu 15.4.16]. Saatavilla: <http://www.lpo-usa.com/LENZE9300servoOperatorManual15-30kW.pdf>
- Murata Manufacturing Co. 2011. Basics of Capacitors How Monolithic Ceramic Capacitors Are Made. [Verkkosivu]. Murata Manufacturing Co. [Viitattu 17.4.16]. Saatavilla: <http://www.murata.com/products/emiconfun/capacitor/2011/06/28/en-20110628-p1>
- Nichicon Corporation. 2016. General Description of Aluminum Electrolytic Capacitors. [Verkkosivu]. Nichicon Corporation. [Viitattu 21.1.16]. Saatavana: <http://www.nichicon.co.jp/english/products/pdf/aluminum.pdf>
- Niiranen, J. 2001. Tehoelektroniikan komponentit. 3. painos. Helsinki: Otatieto.
- Reese, T. 2016. Strategies to Repair or Replace Old Electrolytic Capacitors. [Verkkosivu]. MGH NMR Center. [Viitattu 14.4.16]. Saatavilla: <http://www.nmr.mgh.harvard.edu/~reese/electrolytics/>

- Robinson, M. 2003. The Lazarus Capacitor, Restoring life to a dead electrolytic capacitor. [Verkkosivu]. Fun With Tubes. [Viitattu 21.1.16]. Saatavana: [http://www.angelfire.com/electronic/funwithtubes/Restore\\_cap.html](http://www.angelfire.com/electronic/funwithtubes/Restore_cap.html)
- Sencore. 2016. How to Reform Electrolytic Capacitors. [Verkkosivu]. Sencore. [Viitattu 26.1.16]. Saatavana: [http://patriotgaming.com/manuals/gaming\\_monitors/sencore\\_instruments/LC103/TT170-4341.pdf](http://patriotgaming.com/manuals/gaming_monitors/sencore_instruments/LC103/TT170-4341.pdf)
- Siemens AG. 2003. Micromaster 440. [Käyttöohje]. Siemens AG. [Viitattu 1.4.16]. Saatavana: <http://www.syncroflo.com/images/pdfs/440VFD.pdf>
- Siirilä, T. & Pahkala, J. 2004. EU-määräysten mukainen koneiden turvallisuus. 5. painos. Helsinki: Fimtekno Oy, Inspecta Oy.
- Siirilä, T. 2008. Koneturvallisuus, EU-määräysten mukainen koneiden turvallisuus. 2. painos. Espoo: Inspecta.
- Siirilä, T. 2009. Koneturvallisuus, Ohjausjärjestelmät ja turvalaitteet. 2. painos. Espoo: Inspecta.
- Tukes. 2015a. CE-merkintä. [Verkkosivu]. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. [Viitattu 23.2.16]. Saatavana: <http://www.tukes.fi/fi/toimialat/kuluttajaturvallisuus/ce-merkki/>
- Tukes. 2015b. LVD – Sähköturvallisuus. [Verkkosivu]. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. [Viitattu 10.4.16]. Saatavilla: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/LVD-sahkoturvallisuus/>
- Venet, P., Lahyani, A., Grellet, G. & Ah-Jaco, A. 2008. Influence of Aging on Electrolytic Capacitors Function in Static Converters: Fault Prediction Method. [Verkkosivu]. European Physical Journal: Applied Physics, EDP Sciences, 1999. [Viitattu 26.1.16]. Saatavana: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00141553/document>

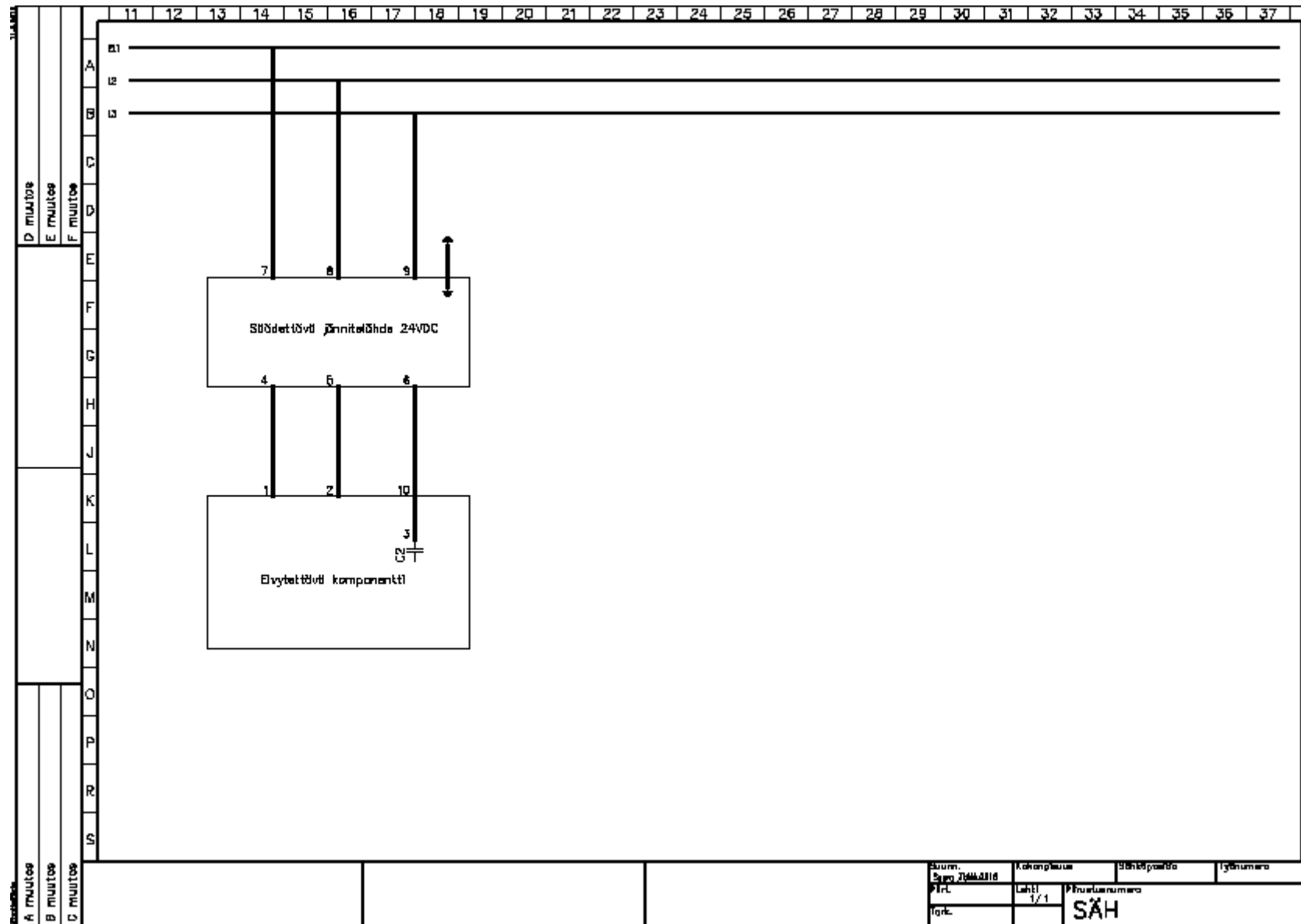
## **LIITTEET**

Liite 1. Jännitelähteen liitännän piirikaavio

Liite 2. Elvytysohje Lenzen laitteille

Liite 3. Elvytysohje muille laitteille

## LIITE 1 Jännitelähteen liitännän piirikaavio

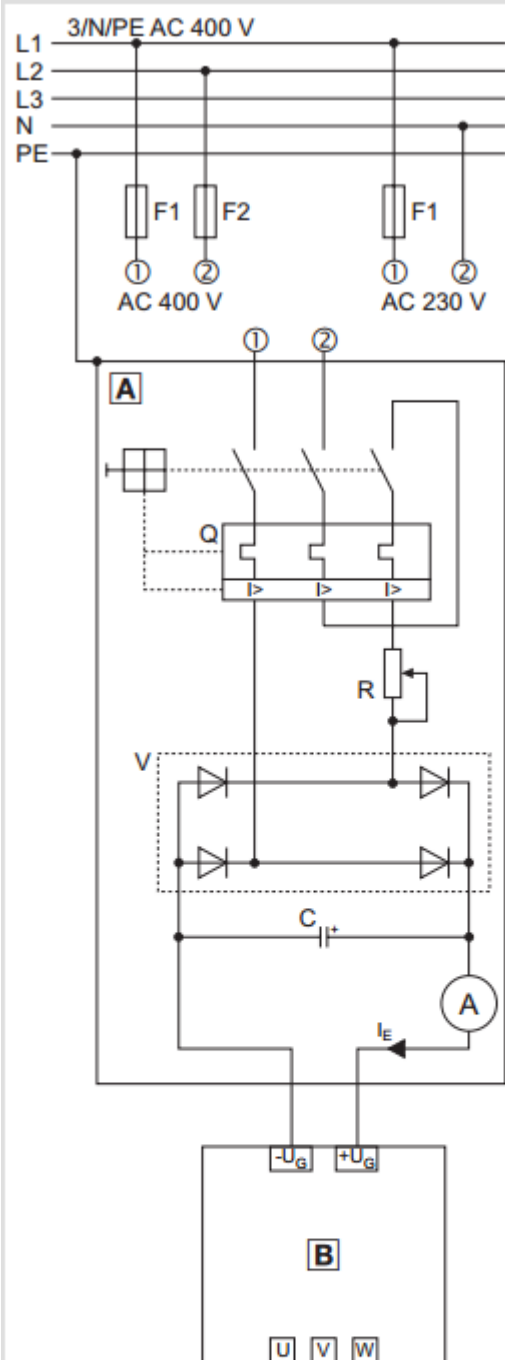


## Liite 2 Elvytysohje Lenzen laitteille

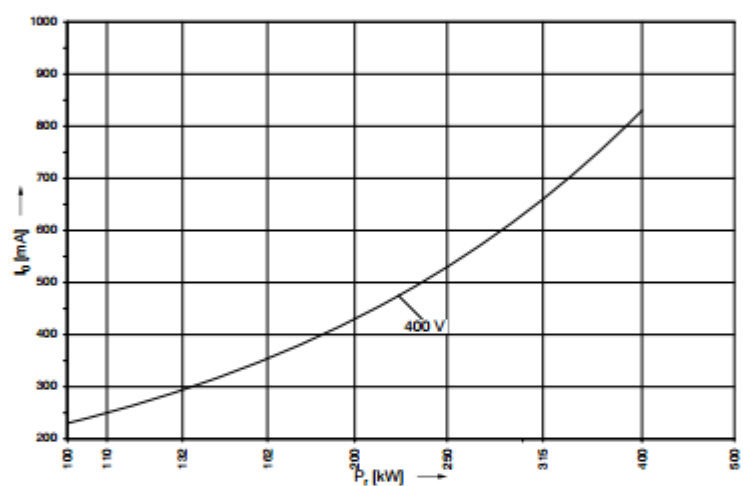
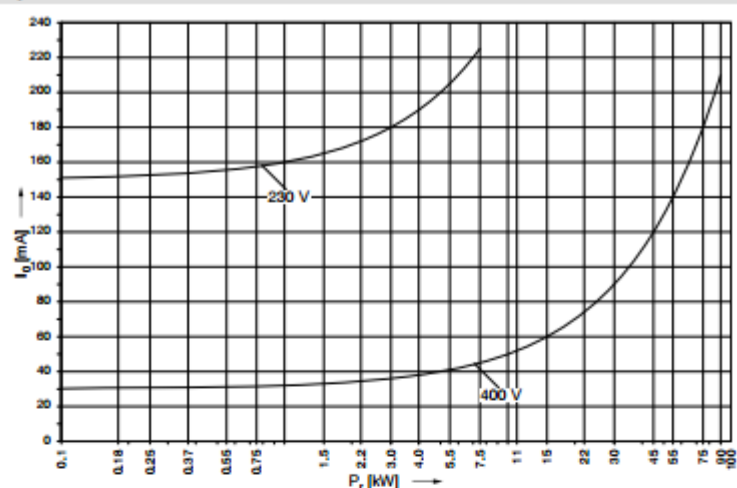
1. Kytke virtapiiri seuraavan sivun kuvan mukaan.
2. Liitä piirin ulostulo tasavirtaväylään.
3. Aseta vastuksen resistanssi maksimiin ( $1\text{k}\Omega$ ).
4. Määritä sallittu vuotovirta  $I_0$  taulukosta.

1. Kytke virta kytkimestä.
2. Mittaa vuotovirta  $I_e$  virtamittarilla.
3. Jos vuotovirta on pienempi kuin kolmasosa sallitusta, vähennä vastuksen resistanssia kunnes ne ovat yhtä suuria.
4. Odota kunnes vuotovirta on pienempi tai yhtä suuri kuin sallittu vuotovirta.
  - a. Jos tätä ei saavuteta, kondensaattoria ei pystytä elvyttämään. Keskeytä elvyttäminen ja tutki onko kondensaattori vaihdettavissa.
5. Vähennä resistanssia kunnes vuotovirta on jälleen yhtä suuri kuin kolme kertaa suurin sallittu vuotovirta.
6. Toista vaiheita 4 ja 5 kunnes resistanssi on asetettu nolnaan.
  - a. Jos vuotovirta saadaan pienemmäksi tai yhtä suureksi kuin suurin sallittu vuotovirta, elvytys on valmis ja onnistunut. Laite voidaan ottaa käyttöön.
  - b. Jos vuotovirtaa ei saada sallittuun vuotovirtaan, kondensaattoria ei pystytä elvyttämään. Keskeytä elvyttäminen ja tutki voiko kondensaattorin vaihtaa. Älä ota laitetta käyttöön tässä kunnossa.

## Circuit for anodizing the DC bus capacitors



form01

Charts for determining the permissible residual current  $I_0$  of the DC bus capacitors

form02, form03

## A Circuit for anodizing the DC bus capacitors

- |        |                          |                              |
|--------|--------------------------|------------------------------|
| ①②     | Rated controller voltage |                              |
| F1, F2 | Fuse                     | 16 A slow-blow               |
| Q      | Motor protection switch  | 2.5 A                        |
| R      | Potentiometer            | 1 k $\Omega$ /600 W          |
| C      | Electrolytic capacitor   | 1 $\mu$ F/1600 V             |
| V      | Rectifier bridge         | 1200 V/2.5 A                 |
| $I_E$  | Anodizing current        | depends on controller        |
| (A)    | Current measuring device | Measuring range: 0.1 ... 2 A |

## B Controller

- |       |   |
|-------|---|
| $I_0$ | Permissible residual current of DC bus capacitors |
| $P_r$ | Rated controller power                            |

Ohje käännetty Lenzen sivuilta. Samaten edellisen sivun piirikaavio ja vuotovirtataulukot.

Tarkemmat alkuperäiset ohjeet löytyvät Lenzen sivuilta <http://www.lenze.com/>

Tämänhetkinen sijainti:

[http://download.lenze.com/AKB/English/200701633/Anodizing\\_DC\\_bus\\_capacitors\\_v1-1\\_EN.pdf](http://download.lenze.com/AKB/English/200701633/Anodizing_DC_bus_capacitors_v1-1_EN.pdf)

Jollei linkki toimi kokeile Lenzen hakua.

1. Vaihda hakukieleksi englanti
2. Hakusanaksi "anodizing capacitors"
3. Välilehdeksi "Application Knowledge Base".
4. Avaa artikkeli "Anodizing DC bus capacitors in controllers" ja avaa pdf.

### Liite 3. Elvytysohje muille laitteille

1. Tarkista laitteen ohjekirjasta suositeltava elvytystapa sekä saako virran kytkettyä suoraan kondensaattorille vai täytyykö laite avata.
2. Tarkista laitteen käyttöjännite. Laske siitä 25%, 50% ja 75%. Jos jännitelähde on ohjelmoitu laskemaan itse, syötä sille käyttöjännite. Alla olevassa kaaviossa on esimerkki jännitteen nostamisesta.

## 2.1 Installation after a Period of Storage

Following a prolonged period of storage, you must reform the capacitors in the inverter.

### Frame Sizes A to F

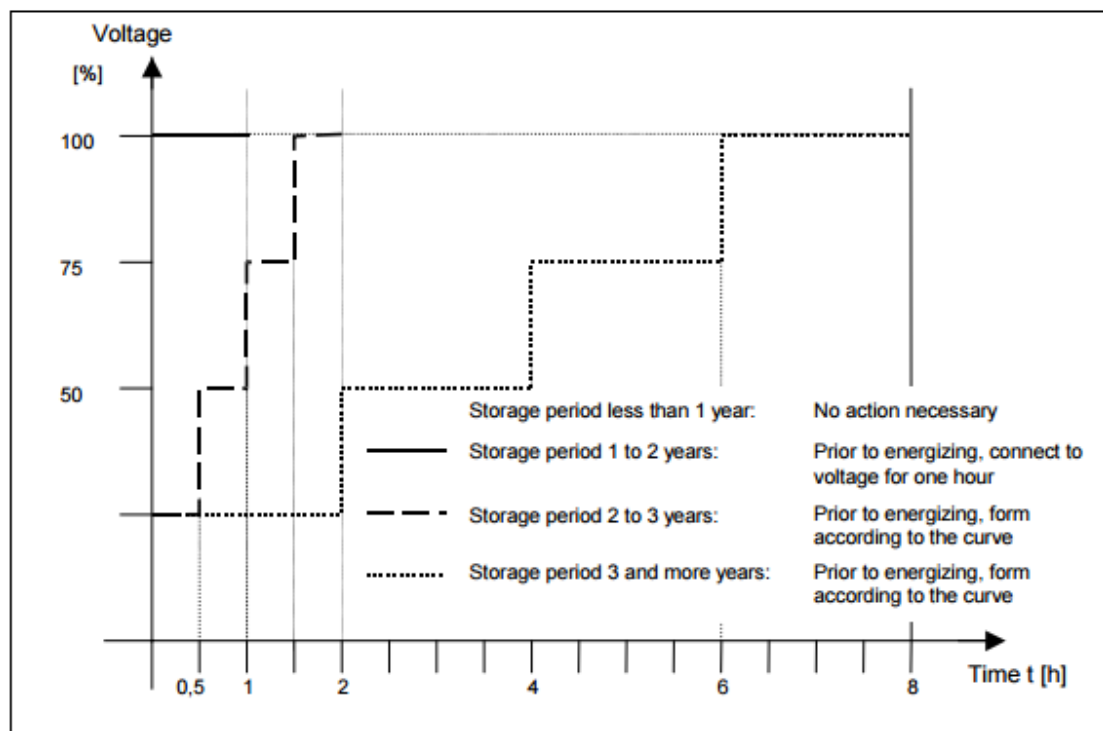
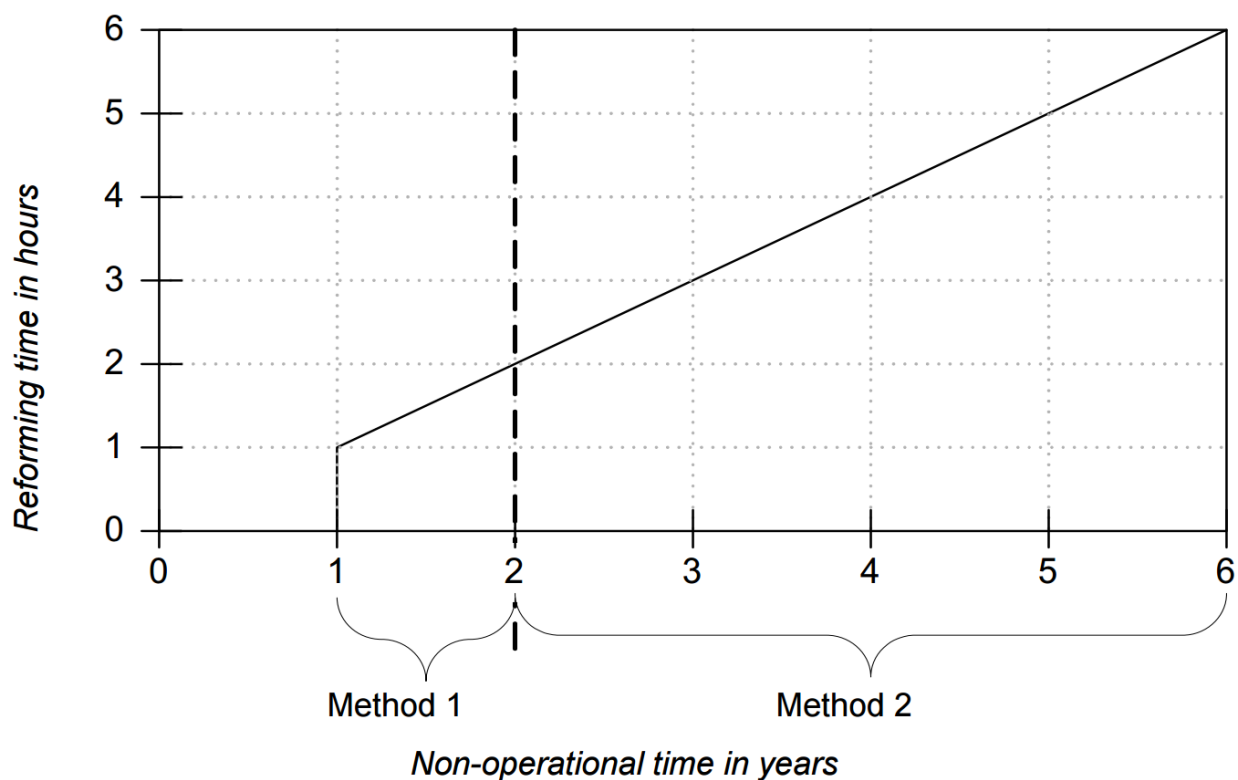


Fig. 2-1 Forming

(Siemens AG 2003.)

3. Selvitä laitteen varastointiaika vuosina. Muuta tunneiksi alla olevan kaavion mukaan -> elvytysaika tunteina on suoraan verrannollinen varastointiaikaan tunteina. Laske neljäsosa elvytysajasta tunteina. Jos jännitelähde on ohjelmoitu laskemaan itse, syötä sille varastointiaika vuosina.





(ABB Oy 2012.)

4. Kytke laite jännitelähteeseen niin että jännite kulkee mahdollisimman suoraan kondensaattorille. Jos jännitelähde on ohjelmoitu, voit kytkeä sen päälle ja poistua kahville.
  - 4.1. Muussa tapauksessa kytke laitteeseen 25% jännitteestä ja odota neljäsosa elvytysajasta tunteina.
  - 4.2. Tämän jälkeen nosta jännite 50% käyttöjännitteestä ja odota jälleen neljäsosa elvytysajasta.
  - 4.3. Nosta jännite 75% käyttöjännitteestä ja odota neljäsosa elvytysajasta.
  - 4.4. Nosta jännite 100% käyttöjännitteestä ja odota neljäsosa elvytysajasta.
5. Kytke laite pois päältä ja irrota elvytettävä laite. Tarkista ulkoisesti näyttääkö laite ehjältä. Voit myös kytkeä laitteeseen virrat ja mitata kondensaattorin vuotovirran nähdäksesi onko se sopivissa rajoissa.